

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vliv kvality horninového prostředí na vývoj posunů výlomu tunelu

Influence of quality geological environment on the development of displacements
of the tunnel excavation.

DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor: Ing. Roman Marek
Studijní obor: 3607 V035, Geotechnika
Školitel: Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.
Místo a datum: Ostrava, Srpen 2012

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád jmenovitě poděkoval Prof. Ing. J. Aldorfovi, DrSc. za cenné rady a za čas, který mi věnoval u konzultací k problematice nejen této disertační práce a Ing. L. Ďurišovi za pomoc ve zvládnutí výpočtového programu MIDAS GTS-3D.

Dále bych rád poděkoval Doc. RNDr. E. Hrubéšové, Ph.D. za pomoc a podporu při mém magisterském a doktorském studiu na fakultě stavební, VŠB-TU Ostrava.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem členům katedry geotechniky a podzemního stavitelství, kteří měli a stále mají vliv na můj studijní i profesní život. Zvláště pak Prof. Ing. J. Horkému, CSc. a Doc. Ing. R. Kořínkovi, CSc., kteří jsou mou osobní inspirací a Ing. B. Luňáčkové, Ph.D. a Ing. T. Petříkovi, se kterými jsem měl tu čest na katedře při doktorském studiu spolupracovat. Všem jmenovaným i nejmenovaným tisíceré díky.

ANOTACE

V dizertační práci je řešena problematika prostorového vývoje posunů a tzv. směrových úhlů výlomu tunelu v závislosti na charakteru horninového prostředí a anomáliích, které ovlivňují napětí-o-deformační stav v masivu.

V první ze dvou stěžejních částí je ukázán alternativní způsob vyhodnocení naměřených posunů ze dvou konkrétních tunelů pomocí směrových úhlů. Cílem je dokázat praktické využití alternativního způsobu vyhodnocování k predikci změny v geologii, respektive napjatosti v okolí výlomu tunelu a poukázat na důležitost sledování posunů ve směru podélné osy tunelu.

Druhou stěžejní částí je analýza odlišnosti prostorového vývoje posunů v homogenním prostředí oproti vývoji posunů v prostředí s přítomností nehomogenity. K řešení tohoto úkolu jsou vytvořeny matematické modely v programovém systému MIDAS GTS-3D, jež je založen na numerické metodě konečných prvků (MKP). Cílem je popsat vliv nehomogenit na prostorový vývoj posunů a směrových úhlů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tunel, výlom, posuny, směrové úhly, metoda konečných prvků (MKP), nehomogenita

ANNOTATION

Dissertation approaches the problem of spatial development of displacements and so-called directional angles of tunnel excavation in dependence on rock mass quality and its anomalies, which affect stress – deformation conditions of rock mass.

The first of two main parts is pointing to alternative way of evaluation of measured displacements obtained by using directional angles in two existing tunnels. Goal of this section is to demonstrate practical using of alternative ways of evaluation to prediction of local changes of geology or alternative way to monitoring of stress around the tunnel excavation and to show importance of monitoring displacements in direction of longitudinal axis of the tunnel.

Second key section is analyzing of differences of spatial displacements development in homogenous surroundings in opposite to spatial displacements development in surroundings with the occurrence of inhomogeneities. For the solution of this task it has created mathematical models in software MIDAS GTS – 3D, which is based on the numerical method of finite elements (FEM). The aim of this section is to describe the influence of inhomogeneities on the spatial development of displacements and directional angles.

KEYWORDS

Tunnel, excavation, displacements, directional angles, finite elements method (FEM), inhomogeneity

Obsah

OBSAH	5
1 ÚVOD A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	6
2 TEORETICKÉ ZÁKLADY DISERTAČNÍ PRÁCE	8
2.1 KONVERGENCE A POSUNY	8
2.2 ZÁKLADNÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VELIKOST A VÝVOJ POSUNŮ	11
2.2.1 Faktor geologie a hydrogeologie	11
2.2.2 Faktor vnějšího zásahu do původního rovnovážného stavu v masivu	12
2.3 SYSTEMATIKA VYHODNOCOVÁNÍ POSUNŮ	14
2.4 VYBRANÉ TEZE MECHANIKY KONTINUA	16
2.4.1 Diferenciální rovnice rovnováhy	17
2.4.2 Podmínka souvislosti (kompatibility) přetvoření	19
2.4.3 Konstitutivní vztahy	20
2.4.4 Okrajové podmínky	21
2.4.5 Numerická analýza	22
3 PŘÍKLADY PRAKTICKÉHO VYUŽITÍ VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH POSUNŮ	24
3.1 TUNEL JABLUNKOV	24
3.1.1 Vyhodnocování posunů k predikci havarijních stavů tunelu	26
3.1.2 Shrnutí vyhodnocování posunů k predikci havarijních stavů tunelu	29
3.2 TUNEL KLIMKOVICE	30
3.2.1 Vyhodnocování posunů k predikci kvality prostředí v předpolí tunelu	31
3.2.2 Shrnutí vyhodnocování posunů k predikci kvality prostředí v předpolí tunelu	36
4 MODELOVÁ ANALÝZA	37
4.1 PROGRAMOVÝ SYSTÉM MIDAS GTS-3D	37
4.2 VÝCHOZÍ ZÁVĚRY PRO MODELOVOU ANALÝZU	39
4.3 NUMERICKÝ MODEL	40
4.3.1 Geometrické parametry numerického modelu	40
4.3.2 Materiálové charakteristiky numerického modelu	40
4.3.3 Numerický model 1	41
4.3.4 Numerický model 2	43
4.3.5 Numerický model 3	46
4.3.6 Numerický model 4	48
4.3.7 Numerický model 5, 6, 7	49
5 ZÁVĚRY A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE	57
LITERATURA	60
INTERNETOVÉ ZDROJE	61
VYBRANÁ PUBLIKAČNÍ ČINNOST	62
SEZNAM GRAFŮ	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK	65
PŘÍLOHY	656

1 ÚVOD A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Tunely – stavby vzbuzující emoce. Asi nikoho, kdo jimi projíždí nebo jimi jen prochází, nenechávají úplně klidným. Jsou to stavby, které překonávají pohoří, jsou to stavby, které překonávají města, jsou to stavby, které překonávají rozpočty...

V České republice se v posledních letech, v důsledku společenské poptávky po podzemních stavbách realizovaných v čím dál složitějších geotechnických podmínkách, stále více zvyšují nároky na prozkoumanost prostředí. Sebelepší inženýrsko-geologický a geotechnický průzkum však nemůže plně vystihnout charakter horninového masivu. Proto je v současnosti již zcela běžnou praxí, že výstavbu podzemních děl doprovází geotechnický monitoring, který slouží k upřesnění a potvrzení předpokladů vycházejících z předchozího inženýrsko-geologického a geotechnického průzkumu.

Geotechnický monitoring je jednou ze základních zásad Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Nedílnou součástí technologických postupů ražby tunelů touto tunelovací metodou se stalo sledování chování výlomu. Monitoring posunů, případně konvergencí primárního ostění, stojí v čele tohoto sledování. Vývoj posunů, případně konvergencí při ražbě tunelu lze za určitých okolností využít nejen k potvrzení předpokladů geotechnického průzkumu (GP), ale i k predikci kvalitativní změny obklopujícího prostředí (např. Schubert, Grossauer 2009). To je umožněno díky současné moderní měřicí technice, pomocí které je možné rychle, efektivně a přesně sledovat aktuální stavy přetváření výlomu. Naměřená data jsou téměř okamžitě exportována datovými toky odborníkům, investorům a technickému dozoru. Ti pak mohou operativně reagovat na nepředpokládané situace, mezi které patří nárůsty zatížení na ostění, změna geologie ap., a tím eliminovat havarijní stavy.

V disertační práci (DP) je řešena problematika prostorového vývoje posunů výlomu tunelu. Z posunů jsou stanovovány směrové úhly a je porovnávána jejich reakce na změnu charakteru okolního prostředí. Jinak řečeno, v DP je řešena problematika využití prostorového vývoje posunů k predikci změny kvality prostředí a napjatosti v masivu pomocí tzv. směrových úhlů. Práce navazuje na diplomovou práci (Marek 2005), jež byla inspirována postupy rakouských odborníků v čele s Prof. Schubertem (např. Schubert, Steindorfer 1996).

Hlavní přínos práce tkví ve dvou kapitolách. V první je ukázán alternativní způsob vyhodnocení naměřených posunů ze dvou konkrétních tunelů pomocí směrových úhlů. Jedná se o Klimkovický tunel a Jablunkovský tunel. Na těchto příkladech je ukazován charakteristický vývoj posunů a směrových úhlů v závislosti na změně geotechnických

parametrů okolního prostředí. Cílem je dokázat praktické využití alternativního způsobu vyhodnocování vývoje posunů pomocí směrových úhlů k predikci změny v geologii, resp. napjatosti v okolí výlomu tunelu a poukázat na důležitost sledovat podélné posuny v tunelu.

V druhé, teoretičtější kapitole, je provedena modelová analýza vlivu změny geologie na prostorový vývoj posunů výlomu tunelu a na charakteristický vývoj směrových úhlů z nich stanovených. Na základě 3D modelování tunelu je sledován charakteristický vývoj posunů v různých, z hlediska geologického, homogenních a stejnorodých prostředí. Jsou stanoveny základní předpoklady o velikosti a směru posunů a směrových úhlů v takovýchto prostředích. Následně jsou pak simulovány přítomnosti nehomogenit v předpolí nebo okolí výlomu tunelu a je sledována změna ve vývoji posunů a směrových úhlů. Cílem této kapitoly je stanovit předpokládané vývoje a velikosti podélných posunů a směrových úhlů pro různá typická homogenní horninová prostředí. Snahou je popsat, co se dá očekávat ve vývoji posunů a směrových úhlů, když se v bezprostřední blízkosti výlomu bude nacházet prostředí s odlišnými geotechnickými vlastnostmi, tzn. na základě odlišného vývoje směrových úhlů a podélných posunů od „normálu“ predikovat změnu kvality okolního prostředí, případně jaký charakter toto prostředí bude mít.

2 TEORETICKÉ ZÁKLADY DISERTAČNÍ PRÁCE

2.1 Konvergence a posuny

Konvergence je definována jako změna vzdálenosti dvou bodů, tzn. hlavním sledovaným parametrem je vzdálenost. Naproti tomu posun je možné popsat jako absolutní prostorovou změnu polohy měřeného bodu. Hlavními sledovanými parametry jsou velikost a směr, tzn. vektor posunu vzhledem k původnímu stavu. Vektory se rozkládají do vodorovných a svislých složek, které jsou kolmé a rovnoběžné s hlavními osami podzemního díla. U liniových staveb jsou hlavní osy kolmé a rovnoběžné se směrem ražby nebo odpovídají souřadnicovému systému jednotné trigonometrické sítě katastrální S-JTSK a výškovému systému baltskému – po vyrovnání Bpv. V disertační práci je vycházeno z posunů výlomu tunelu a z nich stanovených směrových úhlů.

Místa, kde se měří přetváření výlomu, se nazývají měřičské profily. Ty jsou od sebe vzdáleny cca 10ti násobek délky záběru. U tunelů jsou osazeny nejčastěji 5 záměrnými terčíky (měřickými body). U menších průřezů, jako např. u štoly, stačí pouze 3 záměrné terčíky v jednom měřickém profilu. Jeden měřický bod je vždy v nejvyšším místě (ve vrcholu podzemního liniového díla), ostatní jsou na bocích, zrcadlově dle podélné osy. U eliptických, kruhových a členěných průřezů jsou požadavky dány specifiky geometrie. Terčíky by měly být osazeny co nejdříve po vyražení záběru nebo bezprostředně po stabilizaci výlomu primární výztuží s vědomím, že největší deformace probíhají v bezprostřední blízkosti čelby. Taktéž první měření je nutné provádět co nejdříve. Toto měření je považováno za referenční, nulové. Ostatní měření jsou pak srovnávány s referenčním nebo s předchozím. Četnost měření se liší dle specifik interakcí masiv – výztuž. Pokud nedochází k anomáliím při přetváření, tak se samotné měření provádí v intervalech 3 krát za 24 hodin po referenčním, posléze se intervaly prodlužují na 48 hodin, 72 hodin, 7 dní atd. až do ustálení deformací (např. 1 mm za 14 dní).

Spolehlivost závěrů vyplývajících z měření posunů je předně závislá na přesnosti měřicí techniky. U menších profilů je možné s výhodou využívat klasické mechanické nebo optické přístroje, jako např. konvergometry, konvergenční tyče a stojky, teodolity, nivelační přístroje, fotogrammetrické zařízení atd. V minulosti se hojně využívalo teodolitů k měření vertikálních a horizontálních úhlů, horizontální vzdálenosti se přepočítávaly a doměřovaly pomocí pásma, výšky se stanovovaly nivelačními přístroji. Mezi jejich hlavní přednosti patří jednoduché konstrukce a poměrně nízká cena ve srovnání s modernějšími zařízeními. Také měření délek

a úhlů jsou poměrně přesná. Výrobci nivelačních přístrojů nebo přístrojů měřících konvergence garantují přesnosti až 0,1 mm, pro teodolity jsou přesnosti až 1'' nebo 1^{cc}. Pro tunely jsou však tyto přístroje a zařízení nevhodné. V současnosti se v podzemním stavitelství při výstavbě tunelů výhradně používají systémy totálních stanic a laserové skenování. Pomocí těchto zařízení je možné sledovat nejen velikosti, ale i směry posunů výlomu.

Totální stanice (TS) jsou elektronické tachymetry se speciálním vybavením, které musí vizualizovat záměrnou přímku, tj. vytvořit laserový nebo infračervený paprsek směřující požadovaným směrem. Infračervený dálkoměr slouží k zaměřování na odrazné hranoly. V současné době se nejčastěji využívá odrazných fólií v plastových nosičích, upevněných na měřených bodech. Ze znalosti rychlosti a času šíření paprsku k zaměřovanému bodu a zpět je automaticky počítána vzdálenost. Při znalosti vertikálních a horizontálních úhlů se pomocí trigonometrických vztahů a běžných geodetických výpočetních postupů vypočítávají 3D souřadnice těchto bodů. Srovnáváním souřadnic je možno stanovit veškeré prostorové změny polohy bodů výlomu. Ty jsou vstupními daty absolutních posunů. Totální stanice bývají vybaveny zabudovaným nebo připojitelným hardwarem, výpočetními softwary, dálkovými ovladači, samočinnými systémy, záznamovými médii ap. Pomocí nich je měření efektivnější, výpočty automatizované a rychle vyhodnotitelné a softwarově zpracovaná data mohou být během několika minut zpřístupněny on-line všem zainteresovaným subjektům.

Přesnost měření TS je závislá na měřických chybách. Příčinou měřických chyb jsou nedokonalost samotné techniky, lidských smyslů a kvality prostředí. Svůj vliv má i geometrické zkreslení. Špičkovými totálními stanicemi je možné při použití odrazných hranolů, měřit s úhlovou přesností 1'', s výškovou a délkovou přesností větší než 1 mm a konvergence s přesností do 0,1 mm. Výsledky však mohou být zkresleny atmosférickými a klimatickými podmínkami v podzemí. Hlavně prach, vlhkost a teplota ovlivňují konečnou odchylku. Paprsek, stejně jako lidské oko jsou těmito faktory ovlivňovány a snižují celkovou přesnost měření a zvyšují pravděpodobnost chyb. Na druhou stranu nedochází k hrubým chybám nebo chybám z přepsání, protože naměřené hodnoty jsou okamžitě automaticky zaznamenávány, softwarově digitalizovány a na záznamových médiích připraveny k vyhodnocení. Více o teorii chyb a vyrovnání např. v (Švec, Hánek 1999). Geometrickým zkreslením je myšlen problém spojený s konečným vyhodnocováním výsledků. Samotné měření délek a úhlů závisí na předchozích hlediscích. Vektory posunů jsou ale stanovovány

z absolutní polohy bodu. Toto stanovení je zatíženo chybami způsobenými rozkladem výsledného vektoru do hlavních os (viz. 2.3 Systematika vyhodnocování posunů).

Velkou výhodou měření totálními stanicemi je, že není potřebné pozastavení jiných činností souvisejících s výstavbou. Měří se z tzv. volných stanovišť, kdy si měřič zvolí vhodné místo postavení stativu TS a připojením na stabilizované body zaměřuje velké množství konvergenčních bodů za poměrně krátkou dobu. Stabilizované body se pak využívají k dalším aplikacím, jako např. k stanovení směru ražby, usazení a kontrole výztuže, na vyznačení polohy vývrtů pro trhací práce apod. Na rozdíl klasických konvergenčních měření odpadá nutnost fyzického přístupu k bodům. Ten je potřebný jen v případě výměny nebo opravy. Hlavní výhodou TS je však možnost sledování 3D změny polohy měřických bodů.

Laserové skenování (LS) otevřelo nové možnosti v monitoringu přetváření výlomu. Snímáním prostorových objektů se vytváří 3D obraz. Laserový skener je složitější totální stanice s laserovým dálkoměrem, který na rozdíl od totální stanice dokáže za jednu sekundu zaměřit řádově tisíce bodů ve svém zorném poli, tzn., že se nezaměřují jednotlivé diskrétní body, ale všechny body v dosahu s pravidelnými úhlovými rozestupy. Virtuální model vznikne neskenováním příslušného prostoru, jehož výstupem jsou tzv. mračna bodů (point clouds). Základní princip funkce LS spočívá v rozmítání laserového paprsku do jednoho nebo dvou hlavních směrů. Rozmítacím zařízením mohou být např. rotující zrcadla vychylující laserový paprsek, nebo může rotovat samotný laserový zdroj. Ze známých úhlů daných například vychýlením zrcadel a ze vzdálenosti známé z rychlosti a času šíření paprsku lze polární metodou stanovit prostorové souřadnice bodů. Laserový skenovací systém je složen z několika částí. Hlavní částí je laserový skener obsahující samotný zdroj laserového záření. Nedílnou součástí jsou řídicí počítač integrovaný do těla scanneru nebo připojitelný, řídicí software umožňující volbu módů samotného skenování a konečně software pro zpracování naměřených dat. Další součásti jsou např. rozmítací mechanismus, dálkoměr, stojka atd.. Konstrukce záleží na jednotlivých typech a hlavně na potřebách jednotlivých oborů použitelnosti, protože laserového skenování není doménou podzemního stavitelství, spíše naopak, do podzemního stavitelství se dostává hlavně v posledních letech.

Přesnosti modelovaného povrchu bývají až 1 mm, přičemž většina výrobců nahrazuje neskenované mračno bodů digitálním modelem, který se sestává z prostorových útvarů, z nichž každý je umístován pomocí velkého množství bodů. Tím se ještě celková přesnost zvyšuje.

Výhodou LS je velká rychlost zaměřování velké spousty bodů. Zatímco u nejmodernějších totálních stanic je nutné počítat při zaměřování několika metrů tunelu s dobou v řádech desítek minut, u LS jsou to minuty. Díky tomu je možné zaměřit ještě nevyztužený výrub bez rizika vzniku rozvolněné oblasti způsobené pozdním zabudováním primárního ostění, anebo měřit posuny primárního ostění jako celku. V současnosti se však LS využívá především na pasportizaci nadvýlomů, zaznamenávání skutečného tvaru primárního ostění a pro kontrolu odchylek tvaru sekundárního ostění od projektu.

2.2 Základní faktory ovlivňující velikost a vývoj posunů

Kromě výše zmíněných specifík samotného měření je možné základní faktory ovlivňující velikosti a směry posunů výlomu tunelu rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny spadají faktory, které jsou determinovány samotným horninovým prostředím, tj. geologické a hydrogeologické poměry v masivu. Druhou skupinu tvoří faktory, které jsou odrazem vnějšího zásahu do původního rovnovážného stavu v masivu. Těmito faktory jsou především způsob ražby, geometrie výlomu a způsob zajištění výlomu.

2.2.1 Faktor geologie a hydrogeologie

Zemina je nezpevněná nebo slabě zpevněná hornina, která se vyskytuje v povrchových útvarech a která vzniká fyzikálním nebo chemickým zvětráním, transportem a sedimentací z vyvřelých, hlubinných a sedimentárních hornin. Hornina je z geotechnického hlediska horninový blok stejného petrografického složení s nespojitostmi nižších řádů (vrstevnatost, pórovitost, tektonika, apod.). Horninový masiv je soubor horninových bloků, které jsou na kontaktech odděleny nespojitostmi vyšších řádů (tektonické zlomy, trhliny, atd.). Charakter přetváření výlomu podzemního díla je závislý na fyzikálních a mechanických vlastnostech hornin a zemin a na charakteru horninového masivu jako takového. Dobře zvolenou volbou polohy podzemního díla v horninovém prostředí je možné příznivě ovlivnit zatížení na ostění a tím i jeho přetváření. Více o vlastnostech hornin a zemin je možné nalézt v (Pruška 2002) a (Turček, Hulla 2004), obecně o vlivu horninového prostředí na ražbu podzemních děl pak např. v (Klepsatel a kol., 2003).

Přítomnost podzemní vody v horninovém prostředí zvyšuje zatížení na ostění podzemních děl, v důsledku čehož je nutné počítat s vyšším přetvářením výlomu. Zvýšení velikosti zatížení vlivem vody může být částečně eliminováno vhodnou volbou ražby a vyztužování (např. otevřený izolační systém „deštník“). To však nemění nic na faktu, že vliv vody

v jakékoli formě má na horninu, potažmo na horninový masiv, nepříznivý vliv a podzemní dílo v takovémto prostředí bude přímo hydrogeologickými poměry ovlivněno. Více o problematice podzemních vod pojednává např. (Pruška 2002).

2.2.2 Faktor vnějšího zásahu do původního rovnovážného stavu v masivu

Způsob ražby má různý vliv na velikosti a vývoje posunů ostění tunelů. V prostředí s příznivými geotechnickými podmínkami se v současnosti nejčastěji používá Nová rakouská tunelovací metoda, v některých zemích nazývána též Metoda stříkaného betonu. Její výhodou je relativní jednoduchost, flexibilita a rychlost postupu ražby. Více o NRTM pojednává např. (Aldorf a kol., 1992). Na druhou stranu se zhoršujícími se geotechnickými podmínkami při ražbě se u této metody dají předpokládat vyšší posuny výlomu, což plyne z jejího principu spolupřenosu zatížení horninou (viz. níže). V případě velmi nepříznivých geotechnických podmínek je razící práce nutné doplňovat o další stabilizační operace. To však samotná NRTM nevylučuje. Je-li navíc v nepříznivých geotechnických podmínkách potřeba docílit minimalizace posunů, například z důvodu zástavby nad podzemním dílem, volí se způsoby ražby se stabilizací prostředí v předpolí budoucího díla (nejčastěji injektáže a mikropilotové deštníky).

Tam, kde již nelze efektivně a někdy ani fakticky NRTM použít, přichází na řadu tunelovací stroje a zeminové štíty. Prefabrikované nebo monolitické ostění bývá osazováno nebo prováděno bezprostředně po ražbě pod ochranou razícího stroje. Díky tomu jsou posuny výlomu nebo spíše deformace ostění mnohem menší než u NRTM.

Samotnou kapitolou je ražba ve velmi pevných skalních horninách, například ve skandinávských zemích, kde se vyskytují převážně celistvé, tektonicky neporušené a velmi pevné žuly. V takovýchto geologických poměrech má způsob ražby nulový vliv na velikosti a vývoje posunů.

Disertační práce je zaměřena na problematiku posunů při Nové rakouské tunelovací metodě. Její princip je z velké části založen na sledování chování výlomu v průběhu ražby a posuny jsou jejím důležitým kontrolním ukazatelem.

Důležitou roli v deformacích výlomu hraje rozměr a tvar podzemního díla. Historicky nejstarší cílené podzemní liniové stavby v našich končinách měly nejčastěji lichoběžníkový průřez, případně rovné stěny s obloukovým stropem. Bylo to dáno možnostmi vystrojování, kdy jediným vystrojovacím materiálem bylo dřevo. S postupným uvědomováním si základních principů mechaniky a pokrokem v materiálovém odvětví docházelo u větších

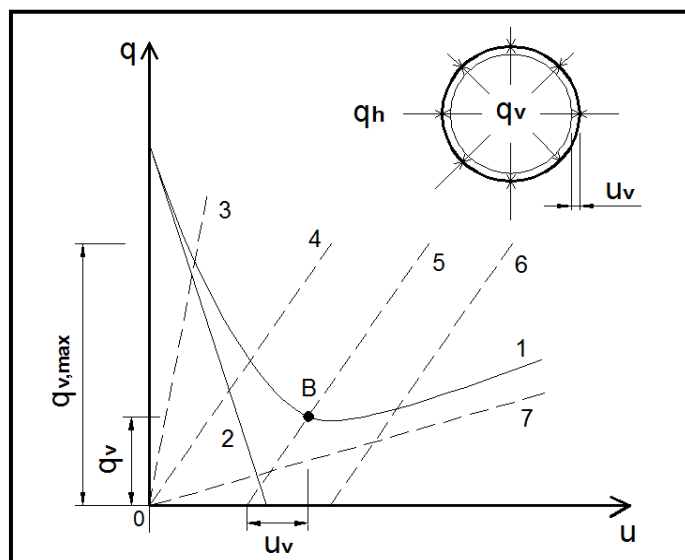
staveb k přechodu na obloukové tvary. V současnosti se drtivá většina velkorozměrových tunelů razí v oblých a oválných tvarech, aby byly eliminovány koncentrace napětí v rozích konstrukcí. S velikostmi napětí souvisí i velikosti deformací výlomu a masivu. Nejpriznivějším tvarem tunelů pro roznos napětí ve výztuži a masivu je kruhový tvar následovaný obloukovými průřezy. U takovýchto průřezů je možné očekávat nejmenší posuny ostění.

Co se týká rozměru podzemního díla - čím je plocha výlomu větší, tím větší je to zásah do napjatosti v masivu a tím větší se dají očekávat deformace výlomu i v samotném masivu. Tunelové stavby z tohoto pohledu spadají do kategorie rozměrnějších a i posuny ostění budou větší, než například u štol. NRTM i klasické tunelovací metody se v méně příznivých geotechnických podmínkách s touto skutečností vyrovnávají dělením výrubu na dílčí čelby a zkracování zabírky při ražbě.

Základní tezí NRTM formulovanou Prof. Rabcewiczem a Prof. Müllerem je spoluúčast horniny na přenosu zatížení. Hlavní funkcí výztuže je udržet horninu v nosném stavu a řídit její deformaci. Ve specifických geotechnických podmínkách může být nosnost horniny velmi nízká až nulová. Stabilitu výlomu pak pouze zajišťuje ostění, které přenáší celé zatížení od napětí v masivu.

Nejnázorněji lze popsat spolupráci horniny s výztuží, která se odráží ve velikosti posunů ostění, pomocí tzv. Fener-Pacherových křivek. Princip je založen na pracovních-deformačních charakteristikách výztuže, kdy jsou využívány pracovní-deformační vlastnosti výztuže k nalezení ideálního stavu nejnižšího zatížení horninou. Ve schématu na obrázku č. 1 jsou znázorněny příklady deformačních charakteristik horniny a výztuže „ u “ v závislosti na reakci výztuže q_v a zatížení horninou q_h . Křivky 1 a 2 znázorňují deformační charakteristiku horniny. Křivka 1 znázorňuje typický deformační průběh nestabilního výlomu, kdy v první fázi dochází k poklesu zatížení za současného nárůstu deformací. Po určité době dojde k vyčerpání únosnosti horniny a nárůst deformací se zrychlí za současného zvyšování zatížení horninou z nově vznikající rozvolněné oblasti kolem výlomu. Rozvolnění a nárůstu zatížení je nutné zamezit včasnou instalací výztuže, jejíž pracovní-deformační křivka je znázorněna číslem 5 a u níž již proběhla vlivem reakce deformace u_v . Naproti tomu křivka 2 znázorňuje horninu, u níž nebude překročena její únosnost, pouze proběhnou deformace výlomu u . Za tohoto předpokladu by nebylo nutné realizovat nosnou výztuž. Křivka číslo 3 zobrazuje pracovní-deformační průběh relativně tuhého typu výztuže, který je vhodný pro zamezení vývoje deformací v masivu. Naopak není využita samonosnost horniny a výztuž musí přenést téměř

celé zatížení. Křivky číslo 4 a 6 znázorňují výztuže instalované příliš brzo, resp. příliš pozdě k ideální stabilizaci výlomu, a konečně křivka 7 zastupuje výztuž, která je příliš poddajná pro zeminu s deformační křivkou č. 1.



Obr. č. 1: Znázornění spolupráce horniny s výztuží.

Pro řízenou deformaci se osvědčil především stříkaný beton, který splňuje nejen základní předpoklady NRTM, ale výhodou je i jeho jednoduchost provádění a flexibilita úpravy vlastností. Řídit deformaci a tím i velikost posunů je ale možné patrně u všech typů výztuží, jen je nutné nalézt správné technické řešení, které nebývá vždy zrovna jednoduché.

Je třeba doplnit, že průběhy pracovních-deformačních křivek výztuže a deformačních křivek horniny jsou pouze ilustrační. Křivky mohou mít v závislosti na typu výztuže a horniny rozličné průběhy. Jejich průběhy a průniky však budou mít vliv na měřitelné posuny...

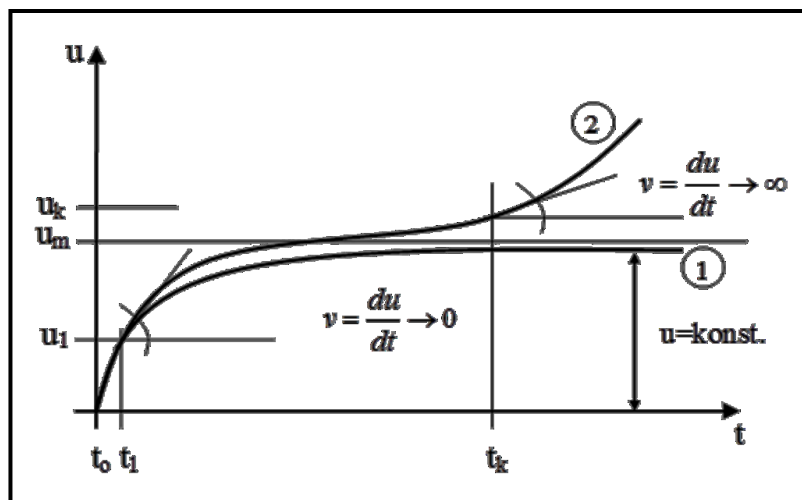
2.3 Systematika vyhodnocování posunů

Nejčastější metodou observace přetváření výlomu tunelu je sledování posunů stabilizovaných bodů na primárním ostění. Na základě měření v měřických profilech jsou stanovovány absolutní polohové změny měřických bodů v trojrozměrném souřadném systému. Výsledky měření jsou kontinuálně vyhodnocovány ve formě číselných a grafických výstupů, kde hlavními sledovanými parametry jsou časové vývoje velikosti posunů ve směrech hlavních os tunelu x , y , z . Velikosti posunů jsou často doplněny grafy vývoje vektorového diagramu v rovině měřeného profilu, které znázorňují směrový progres sledovaných bodů.

V projektu geotechnického monitoringu jsou specifikovány varovné stavy, ve kterých jsou stanoveny hranice (mezní hodnoty), kterých nesmí být během ražby dosaženo. Pokud jsou

mezní velikosti posunů překročeny nebo jsou směry posunů v rozporu s očekáváním, pak dochází k analýzám důvodů a k řešení situací dle krizových plánů.

Na obr. č. 2 jsou schematicky znázorněny dva typické příklady vývoje posunů v závislosti na čase. Křivka číslo 1. znázorňuje stav, kdy rychlost vývoje posunů daná derivací dráhy podle času, tj. směrnici tečny dráhy k času se blíží limitně k „0“. To značí ukončený přírůstek posunů. Důležité je, aby křivka číslo 1. ve svém průběhu nedosáhla hodnoty mezního posunutí u_m . Opačně je tomu u křivky číslo 2., kde je nejen překročena hranice mezního posunutí, ale v čase t_k dochází navíc k výraznému nárůstu rychlosti vývoje posunů, což už často indikuje havarijní stav.



Obr. č. 2: Časová závislost vývoje posunů z pohledu varovných stavů.

Ne vždy však jsou velikosti a změny směrů posunů tak velké, aby bylo možné ihned vysledovat určitou progresi v jejich vývoji. U havarijních stavů často bývá nárůst posunů velmi rychlý, bez předchozího náznaku změny směru. Změna geologického charakteru horninového prostředí zase nemusí mít výraznou odezvu ve změně velikosti a směrech posunů vůbec, zvláště pak u posunů rovnoběžných s podélnou osou tunelu. Proto se v posledních letech pro potřeby predikce kvality prostředí vyvíjejí nové postupy vyhodnocování měření posunů, které mohou upřesnit obraz o jeho charakteru. Jednou z možností je sledování vývoje přetváření výlomu pomocí tzv. „směrových úhlů“ (např. Schubert, Steindorfer 1996), (Marek 2005).

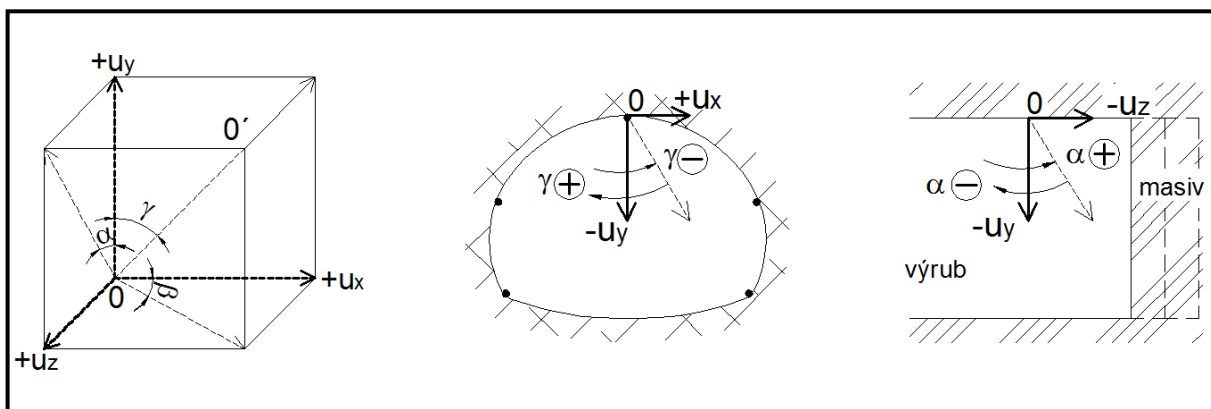
Základní myšlenka spočívá v definici úhlů, které svírají výslednice posunů v hlavních rovinách tunelu s hlavními směry posunů v příslušném kvadrantu. Kvadrant je závislý na znaménkové konvenci (obr. č. 3). V souřadném systému x, y, z , kde osy x a y jsou kolmé

k podélné ose tunelu a osa z je kolmá k nim, tzn. je rovnoběžná s podélnou osou liniového díla, bude znaménková konvence následující:

- osa x – posuny u_x – kladný směr z leva doprava (příčné posuny)
- osa y – posuny u_y – kladný směr zdola nahoru (svislé posuny)
- osa z – posuny u_z – kladný směr od čelby do výrubu (podélné posuny)

Velikost směrových úhlů je pak dána:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{u_z}{u_y}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{u_z}{u_x}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{u_x}{u_y} \quad [1]$$



Obr. č. 3: Orientace posunů a směrových úhlů.

Jmenovatelé vztahů uvedených v [1] $\neq 0$. Jejich hodnota nemůže reálně nabývat velikosti „0“, ale velikost naměřených nebo vypočtených posunů nulová být může. V takovémto případě je nutné velikost úhlu aproximovat z tendence vývoje posunů předchozích a následujících. Praktické použití systematiky směrových úhlů a její srovnání s tradičním vyhodnocováním vývoje posunů je zpracováno v kapitolách 3 a 4.

2.4 Vybrané teze mechaniky kontinua

V kapitole 4 je řešena analýza odlišnosti prostorového vývoje posunů v homogenním prostředí od vývoje posunů v prostředí s přítomností nehomogenity. K řešení tohoto úkolu jsou vytvořeny matematické modely v programovém systému MIDAS GTS-3D, jež je založen na numerické metodě konečných prvků (MKP). Několik následujících stran je proto věnováno základním řídicím rovnicím pro tuto numerickou metodu modelování kontinua. Podrobněji je problematika zpracovaná např. v (Aldorf, 1999), (Brdička a kol., 2005), (Rektorys, 1999).

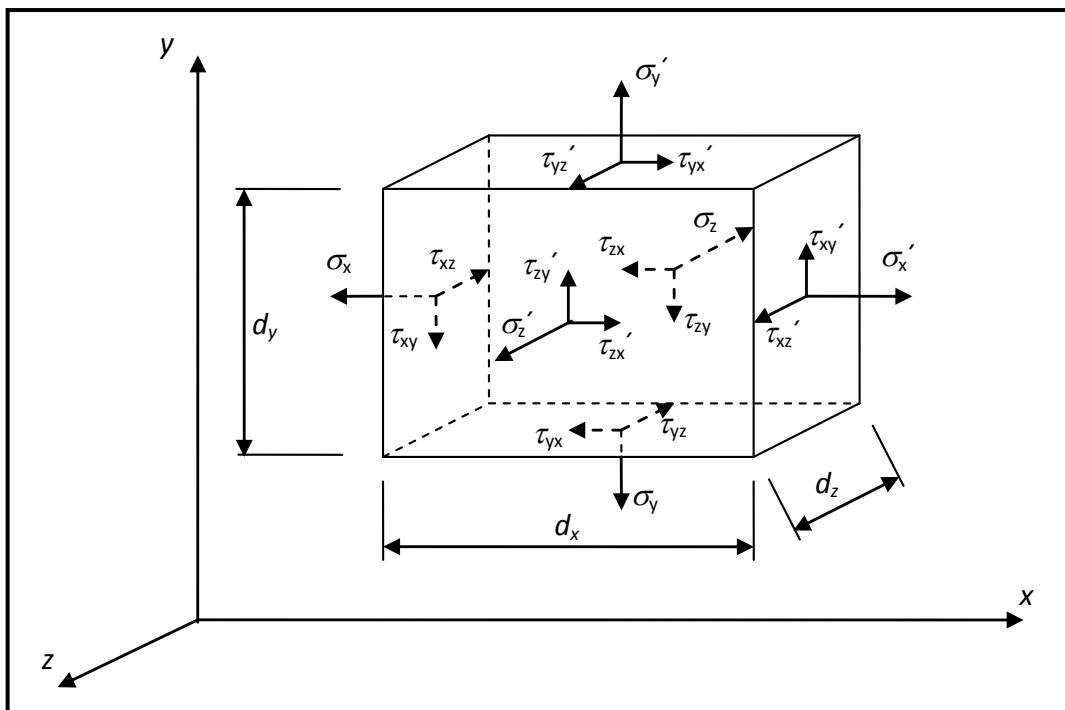
2.4.1 Diferenciální rovnice rovnováhy

Nechť je kontinuum část prostoru, který je spojitě vyplněn látkou o určitých vlastnostech bez ohledu na její diskrétní strukturu. Nepůsobí-li na kontinuum žádné vnější síly, je kontinuum ve stavu přirozené rovnováhy. Začnou-li na něj působit vnější síly, vyvolají jak deformaci jeho povrchu, tak změnu stavu napětí a deformaci uvnitř kontinua. V této fázi není kontinuum v rovnováze. Rovnováhu je opětovně dosaženo vyrovnáním mezi působícími silami a vnitřními napětími. Kontinuum se pak dále nedeformuje, takže samotné kontinuum i všechny jeho části jsou v opětovném rovnovážném stavu. Za tohoto stavu kontinua je na celé kontinuum, nebo jen na některé jeho části použit tzv. princip ztuhnutí (Brdička, a kol., 2005). Vzájemný účinek jednotlivých částí kontinua je nahrazen příslušnými plošnými silami.

Rovnice rovnováhy je možné odvodit např. studiem rovnováhy na elementárním hranolu, jehož hrany mají velikost d_i (resp. dx , dy , dz). Na obr. č. 3 je schematicky znázorněn uvažovaný elementární hranol spolu s jednotlivými složkami napětí. Složky napětí posunuté o diferenciální přírůstek od počátku souřadnic, mají např. ve směru osy x velikost:

$$\sigma'_x = \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx, \quad \tau'_{yx} = \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy, \quad \tau'_{zx} = \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz, \quad [2]$$

přičemž kromě složek napětí na povrchu prvku mohou též působit objemové síly F_i .



Obr. č. 4: Napjatost elementárního hranolu

Aplikací principu ztuhnutí jako účinku okolí kontinua na zvolený elementární hranol o objemu V je dosaženo na uvažované části kontinua rovnováhy, bude-li výslednice i výsledný moment všech sil působících na tuto část rovní nule, a zároveň část objemu V tuhého kontinua zůstane v deformovaném stavu.

Za předcházejících předpokladů pro výslednici sil ve směru os x, y, z platí:

$$\begin{aligned} (\sigma'_x - \sigma_x)dydz + (\tau'_{yx} - \tau_{yx})dxdz + (\tau'_{zx} - \tau_{zx})dxdy + F_x dxdydz &= 0 \\ (\sigma'_y - \sigma_y)dxdz + (\tau'_{xy} - \tau_{xy})dydz + (\tau'_{zy} - \tau_{zy})dydx + F_y dxdydz &= 0, \\ (\sigma'_z - \sigma_z)dxdy + (\tau'_{xz} - \tau_{xz})dzdy + (\tau'_{yz} - \tau_{yz})dzdx + F_z dxdydz &= 0 \end{aligned} \quad [3]$$

kdy jsou získány elementární síly ze složek napětí jejich vynásobením plochou příslušné stěny hranolu.

Dosažením rovnic [2] do rovnic [3] a následnou úpravou je možné vyjádřit diferenciální rovnice rovnováhy:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + F_y &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z &= 0 \end{aligned} \quad [4]$$

V obecném tvaru mají podmínky rovnováhy tvar (s respektováním sumačního pravidla):

$$\frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + F_i = 0 \quad (i = 1, 2, 3), \quad [5]$$

kde τ_{ji} je tenzor napětí:

$$[\tau_{ji}] = \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} \end{bmatrix} \quad \text{resp.} \quad [\tau_{ji}] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}. \quad [6]$$

Z momentových podmínek rovnováhy elementárního hranolu (při zanedbání objemové síly), která má např. ve vztahu k ose z tvar:

$$\sum M_z = 0 \quad \tau_{xy} dydzdx - \tau_{yx} dxdzdy = 0, \quad [7]$$

a za předpokladu:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}, \quad \tau_{zx} = \tau_{xz}, \quad [8]$$

tvoří rovnice [4] šest rovnic pro devět neznámých složek tenzoru napětí. Úloha je tedy 3x staticky neurčitá a pro řešení je nutné přijmout další tři deformační podmínky, nazývané obvykle podmínkami souvislosti přetvoření.

2.4.2 Podmínka souvislosti (kompatibility) přetvoření

Ve světle předcházejícího je nutné zkoumat geometrickou podstatu stavu deformovaného tělesa bez ohledu na příčiny, které deformaci vyvolávají a na fyzikální zákony, podle kterých deformace probíhá. Je potřeba stanovit geometrický vztah mezi veličinami, které charakterizují vlastní deformaci, a derivacemi veličin popisujících celkové posunutí tělesa. V celkovém možném posunutí jsou totiž obecně zahrnuta jak deformace, tj. změny vzájemné polohy jednotlivých hmotných bodů tvořících kontinuum a s tím související změny tvarové, popř. i objemové, tak i taková posunutí, při nichž se celé těleso posouvá nebo otáčí jako tuhý celek. Omezíme se pouze na vlastní elastické deformace, při nichž obecně dochází ke změně vzdáleností mezi dvěma libovolnými sousedními, nekonečně blízkými body tělesa.

Rovnice souvislosti přetvoření (někdy také Saint-Venantovy rovnice) ošetřují, aby přetvoření celého tělesa bylo souvislé, bez ohledu na deformaci. Zajistí tedy, aby při deformaci nemohly vznikat např. trhliny nebo další nespojitosti. K rovnicím lze dospět přímo z obecné rovnice:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} = 2e_{ij}, \quad [9]$$

kde $u_i(x_j)$ je vektorem posunutí libovolného bodu tělesa a e_{ij} je tenzor malých deformací.

$$[e_{ij}] = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{xy}/2 & \gamma_{xz}/2 \\ \gamma_{yx}/2 & \varepsilon_y & \gamma_{yz}/2 \\ \gamma_{zx}/2 & \gamma_{zy}/2 & \varepsilon_z \end{bmatrix}, \quad [10]$$

kde

$$\varepsilon_x = \delta u / \delta x, \quad \varepsilon_y = \delta v / \delta y, \quad \varepsilon_z = \delta w / \delta z \quad [11]$$

jsou poměrná prodloužení ve směru souřadných os a

$$\gamma_{xy} = \delta u / \delta y + \delta v / \delta x, \quad \gamma_{yz} = \delta v / \delta z + \delta w / \delta y, \quad \gamma_{xz} = \delta u / \delta z + \delta w / \delta x \quad [12]$$

vyjadřují úhlové přetvoření. Úpravou rovnice [9], po postupném vyjádření všech tří funkcí u_i , je možné dospět k rovnicím kompatibility přetvoření, které se obvykle v literatuře uvádějí v kartézských souřadnicích ve tvaru:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} &= 0 \\
\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x} &= 0 \\
\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} &= 0 \\
\frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) - 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z} &= 0 \\
\frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right) - 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z \partial x} &= 0 \\
\frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right) - 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y} &= 0
\end{aligned} \tag{13}$$

Rovnice kompatibility přetvoření jsou podmínkami pro to, aby ze soustavy šesti nezávislých rovnic [10] bylo možné vypočítat tři neznámé funkce $u_i(x_j)$ – čili složky vektoru posunutí, jsou-li známé složky tenzoru deformace.

2.4.3 Konstitutivní vztahy

V praktických výpočtech se nejprve určují složky tenzoru napětí. Z nich se posléze stanovují složky tenzoru deformace. K tomu slouží konstitutivní vztahy.

Ve výpočtech mechaniky podzemních konstrukcí lze uvažovat jen malé deformace (prodloužení resp. zkrácení ne o mnoho více než 1 %), což zjednodušuje matematické operace. Dalším zjednodušením může být předpoklad platnosti lineární teorie pružnosti, tzn. lineární závislosti složek tenzoru deformace na složkách tenzoru napětí a naopak. Podle uvedeného předpokladu (bez zohlednění reologického chování látek) je každá ze šesti složek tenzoru napětí obecně lineární funkcí šesti složek tenzoru deformace. Výsledkem je šest rovnic, které mají při shrnutí do jedné rovnice tvar:

$$\tau_{ij} = C_{ijkl} e_{kl}, \tag{14}$$

kde τ_{ij} je tenzor napětí, C_{ijkl} tenzor 4. řádu elastických koeficientů a e_{kl} tenzor malých deformací. Jedná se o rovnice souhrnně nazývané zobecněný Hookův zákon.

Tenzor elastických koeficientů C_{ijkl} je v obecném případě tvořen 3^4 proměnnými. Jelikož τ_{ij} a e_{kl} jsou symetrické tenzory, počet nezávislých koeficientů se redukuje na $6^2 = 36$, v nejobecnějším případě deformace krystalů trojklané soustavy je třeba znát jen 21 elastických koeficientů, se stoupajícím počtem prvků symetrie počet nezávislých elastických koeficientů krystalů dále klesá, takže pro vysoce symetrickou krychlovou soustavu jejich

počet klesne na tři. V případě homogenního izotropního prostředí se počet koeficientů sníží na dva, z nichž jeden popisuje deformaci tvarovou a druhý objemovou. Mohou jimi být buďto tzv. Lamého parametry λ a μ , kde λ vyjadřuje změnu objemu a μ , označován spíše jako G , je modul pružnosti ve smyku, nebo Youngův modul pružnosti E , Poissonovo číslo ν , případně modul stlačitelnosti materiálu k .

Obecný zápis Hookova zákona pro případ izotropie by tedy měl s využitím Youngova modulu pružnosti E , Poissonova čísla ν a modulu ve smyku G tvar:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{zx} &= \frac{\tau_{zx}}{G}\end{aligned}\quad [15]$$

Vyjádřením E , ν a k jako funkce λ a μ :

$$E = \mu \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu}, \quad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}, \quad k = \lambda + \frac{2}{3}\mu \quad [16]$$

je z těchto rovnic možné stanovit explicitní závislost λ , μ , k na E a ν :

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad k = \frac{E}{3(1-2\nu)}. \quad [17]$$

Obecným Hookovým zákonem je dán vztah mezi složkami napětí a přetvoření. To umožňuje vyjádřit rovnici kompatibility přetvoření v lineární teorii pružnosti napětími. Hookovými rovnicemi se doplňuje systém rovnic obecné prostorové úlohy pružnosti na dostatečný počet, neboť pro patnáct neznámých veličin (posuny u , v , w , přetvoření ε_x , ε_y , ε_z , γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx} a napětí σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx}) máme nyní taktéž patnáct rovnic - tři Cauchyho podmínky rovnováhy, šest rovnic kompatibility přetvoření a šest Hookových rovnic.

2.4.4 Okrajové podmínky

Kromě splnění rovnic uvedených v předcházejících třech kapitolách je nutné, aby byly splněny i tzv. okrajové podmínky, které zajišťují nezbytnou rovnováhu vnitřních a vnějších sil. Podle toho, jakým způsobem je předepsáno působení sil na povrchu tělesa (jsou-li dány buď síly samotné, nebo jsou dána posunutí jednotlivých bodů povrchu tělesa v důsledku jeho deformací) rozeznáváme dvě základní okrajové úlohy. První spočívá v určení velikosti posunutí a rozložení napětí při rovnovážném stavu elastického tělesa, na které jsou známy působící objemové síly a je známé rozložení vnějších sil na povrchu. Jsou tedy známy plošné

síly působící na povrch tělesa T_i^{v*} jako funkce souřadnic bodů na povrchu nedeformovaného tělesa. Současně jsou však působící síly ve všech místech kontinua určeny složkami tenzoru napětí τ_{ij} , což platí i o bodech na povrchu tělesa. Mezi vnitřními napětími τ_{ij} při povrchu tělesa a plošnými silami T_i^{v*} na povrchu tělesa musí platit základní rovnice:

$$T_i^{v*} = \tau_{ij} v_j, \quad [18]$$

kde τ_{ij} jsou složky tenzoru napětí v bodech na povrchu tělesa a v_j jsou směrové kosiny vnější normály k povrchu tělesa.

Druhá základní okrajová úloha spočívá v určení velikosti posunutí a rozložení napětí při rovnovážném stavu elastického tělesa, na kterém jsou známy působící objemové síly a předepsána posunutí bodů na povrchu tělesa (jako známé funkce souřadnic x_i povrchu tělesa). To znamená, že z podmínek rovnováhy a z obecného zápisu Hookova zákona je nutné určit takové funkce u_i , které by na povrchu tělesa splňovaly podmínku:

$$u_i = f_i(x_j), \quad [19]$$

kde f_i jsou dané funkce.

Existují i úlohy, kdy na jedné části povrchu tělesa je dáno rozložení plošných sil, a na zbývajících částech povrchu jsou předepsána posunutí. V tomto případě se pak jedná o tzv. smíšené základní okrajové podmínky.

2.4.5 Numerická analýza

K řešení nastolených úkolů jsou v kapitole 4. vytvořeny matematické modely v programovém systému založeném na variační metodě, metodě konečných prvků (MKP). Princip variačních metod spočívá v hledání minima funkcionálu potenciální energie, při níž je dosaženo stavu rovnováhy a následném převedení úlohy řešení parciálních diferenciálních rovnic na řešení soustavy lineárních algebraických rovnic. Energetická formulace má tvar:

$$J(u) = \int_V \left(\frac{1}{2} C_{ijkl}(x) u_{ij}(x) u_{kl}(x) - F_i(x) u_i(x) \right) dV - \int_S u_i(x) T_i^v(x) dS \quad [20]$$

vyhovující daným okrajovým podmínkám. Objemový integrál odpovídající prvnímu členu představuje přetvárnou práci, druhý člen objemového integrálu práci vykonanou objemovými silami F_i a povrchový integrál práci vykonanou povrchovými silami T^v . Minimalizací funkcionálu $J(u)$, tj. $\partial J(u) = 0$ je získáno řešení ekvivalentní s řešením okrajového problému charakterizovaného parciální diferenciální rovnicí a příslušnými okrajovými podmínkami.

Vyjádřením u_i pomocí báze $\{\phi^\alpha\}$ a koeficientů $\{u_i^\alpha\}$ je:

$$u_i(x) = \sum_{\alpha} u_i^\alpha \phi^\alpha(x), \quad [21]$$

kde u_i nabývá hodnoty u_i^α v uzlových bodech elementu α . Koeficienty jsou přitom voleny tak, aby vyhovovaly dané okrajové podmínce, např. $u_i^\alpha = u_i^0(x^\alpha)$ pro x^α definované na hranici oblasti V .

Dosazením rovnice [21] do rovnice [20] (při zanedbání povrchových sil) se funkcionál $J(u)$ redukuje na tvar:

$$J^*(\{u_i^\alpha\}) = \sum_{\alpha, \beta} \frac{1}{2} k_{i,j}^{\alpha, \beta} u_i^\alpha u_j^\beta - \sum_{\alpha} F_i^\alpha u_i^\alpha, \quad [22]$$

kde

$$k_{i,j}^{\alpha, \beta} = C_{ijkl} \int_V \phi_{,k}^\alpha(x) \phi_{,l}^\beta(x) dV \quad [23]$$

je matice tuhosti elementu. Matice tuhosti je obecně vyhodnocována s využitím Gaussovy numerické integrace v odpovídajících integračních bodech, jejichž počet závisí na zvoleném typu prvků (viz. kapitola 4).

Rovnici [22] lze přepsat do zjednodušeného zápisu:

$$J^*([U]) = \frac{1}{2} [U]^T [K] [U] - [F]^T [U], \quad [24]$$

kde $[U]$ a $[F]$ jsou vektory odpovídající $\{u_i^\alpha\}$ a $\{F_i^\alpha\}$, $[K]$ matice odpovídající členu $\{k_{i,j}^{\alpha, \beta}\}$.

Řešením rovnice [21] je tedy ten vektor $[U]$, který bude vyhovovat rovnici:

$$[K] [U] = [F], \quad [25]$$

což je matice řešení, kterou metoda konečných prvků hledá ve svém numerickém výpočtu.

3 PŘÍKLADY PRAKTICKÉHO VYUŽITÍ VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH POSUNŮ

„Je prakticky možné z monitoringu posunů vysledovat změnu kvality prostředí?“ To je otázka, která je řešena v této kapitole. Analyzovanými daty jsou záznamy z měření posunů při ražbách dvou tunelů v ČR. Jednou ilustrační stavbou je Jablunkovský tunel, jenž je neblaze proslulý především havárií z listopadu 2009. Analýza vývoje posunů a směrových úhlů je provedena s ohledem na tuto událost, na které se z velké části patrně podílela změna vlastností horninového prostředí způsobená saturací nadložních vrstev tunelu.

V druhém případě je ilustrační stavbou Klimkovický tunel. Na vyhodnocení monitoringu podélných posunů a směrových úhlů je nastíněna závislost mezi vývojem těchto posunů resp. směrových úhlů a kvalitou prostředí v předpolí. Je tedy řešena otázka, co se skrývá před čelbou, zda prostředí kvalitativně lepší nebo horší.

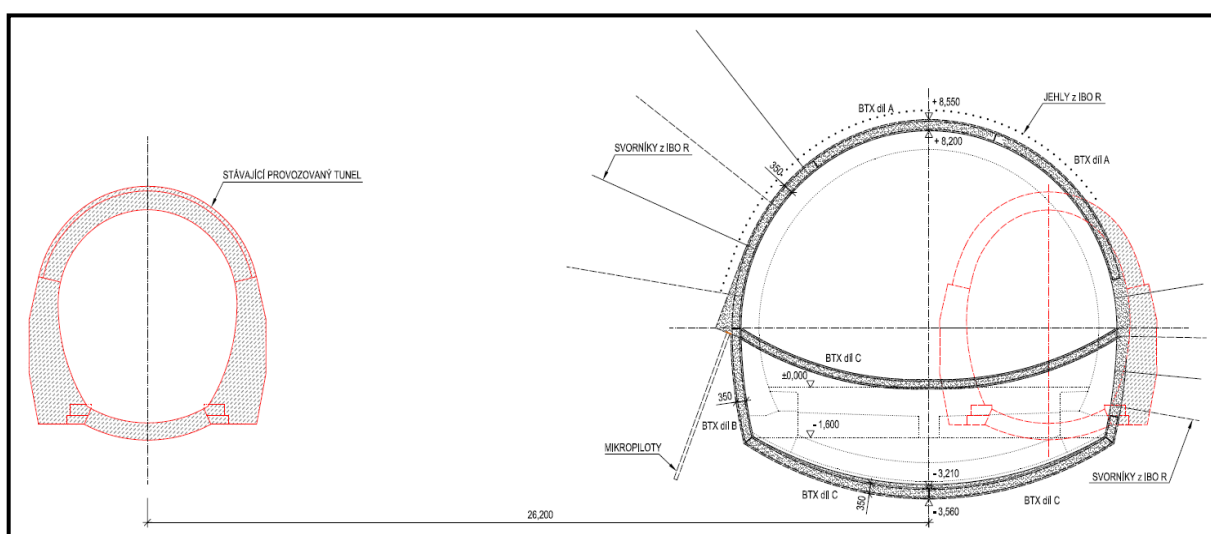
3.1 Tunel Jablunkov

V rámci rekonstrukce III. železničního koridoru na trati Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší se provádí přestavba tunelu Jablunkov. Přestavba obnáší rozšíření jednoho ze dvou jednokolejných tunelů na dvojkolejný, přičemž druhý bude sloužit jako úniková štola. Celou výstavbu doprovází komplikace, které po první havárii vyústily k doplnění tříd výrubu NRTM o podtřídy 5a, 5b, 5c. To však nezabránilo dalším haváriím, z nichž v pořadí třetí měla za následek zavalení 96 metrů díla a vznik kráteru o rozloze přesahující 7 000 m².



Obr. č. 5: Letecký pohled na kráter po havárii tunelu Jablunkov (zdroj MF DNES)

Celková projektovaná délka tunelu Jablunkov je 612 m, z toho 564 m ražených. Ražba probíhá Novou rakouskou tunelovací metodou s horizontálním členěním výrubu (kalota-opěří-dno). Plocha výrubu se pohybuje kolem 91 m², z toho kaloty cca 58 m². V ražených úsecích je primární ostění prováděno ze stříkaného betonu třídy C16/20 o minimální tloušťce 350 mm, vyztuženo 2 x KARI sítěmi a příhradovými nosníky BTX a doplněno horninovými svorníky. Po první havárii byl původní systém stabilizace výrubu doplněn o uzavírání protiklenby v co nejkratším čase, realizaci ochranného deštníku, mikropiloty a přidání radiálních svorníků. Sekundární železobetonové ostění je v tloušťce minimálně 500 mm.



Obr. č. 6: Příčný řez tunelem Jablunkov, třída výrubu NRTM 5a

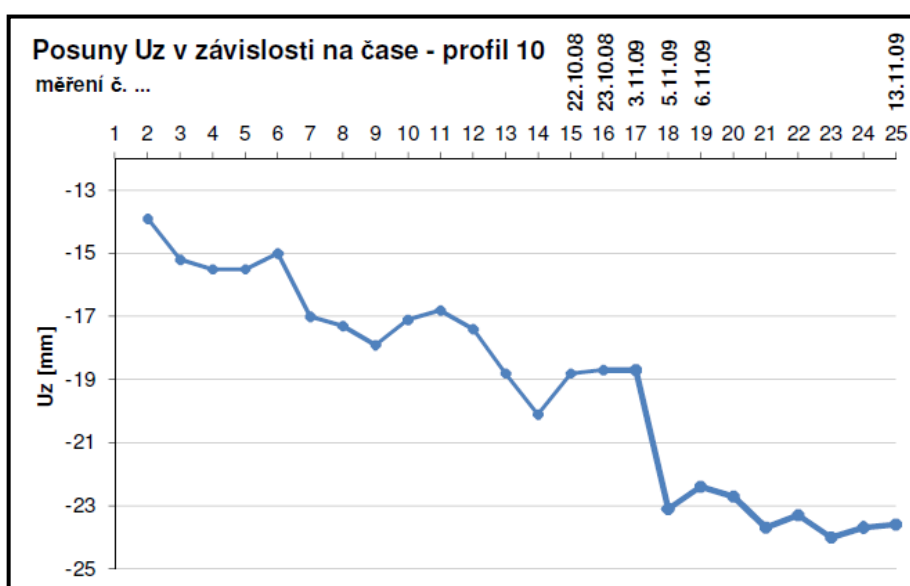
Před samotnou ražbou tunelu byl proveden komplexní geotechnický průzkum. Po počátečních komplikacích byl proveden doplňkový inženýrsko-geologický průzkum, který je po celou dobu ražby doplňován geotechnickým monitoringem. Maximální mocnost nadloží tunelu je 24 m. Tunel je veden v jílovcích, které mají tendenci vlivem vody degradovat (snižovat přetvárné vlastnosti). Pevnostmi odpovídají dle ČSN 73 1001 poloskalním horninám tříd R5 - R6. Jílovce dále místy obsahují tenké, nepravidelné vložky prachovců až pískovců. Pokryv tvoří hlavně pevné jíly třídy F8. Podzemní voda nebyla v zájmové lokalitě zaznamenána, prostředí se dá bez dotací z dešťových srážek považovat za suché až vlhké. Před největší havárií v listopadu 2009 však dotace z dešťových srážek byly abnormálně vysoké, což mělo patrně svůj vliv na změnu vlastností horninového prostředí.

3.1.1 Vyhodnocování posunů k predikci havarijních stavů tunelu

Na výstupech z monitoringu posunů ve 4 měřických profilech jsou prezentovány vývoje posunů směrových úhlů. Pozornost je věnována především období třetí havárie. S ohledem na ilustrační charakter tohoto konkrétního příkladu je vyhodnocování směrových úhlů provedeno pouze pro měřické body ve vrcholu díla. Jako podklad slouží data z geotechnického monitoringu realizovaného firmou SG-Geotechnika a.s., která byla poskytnuta ve formě souřadnic měřických bodů.

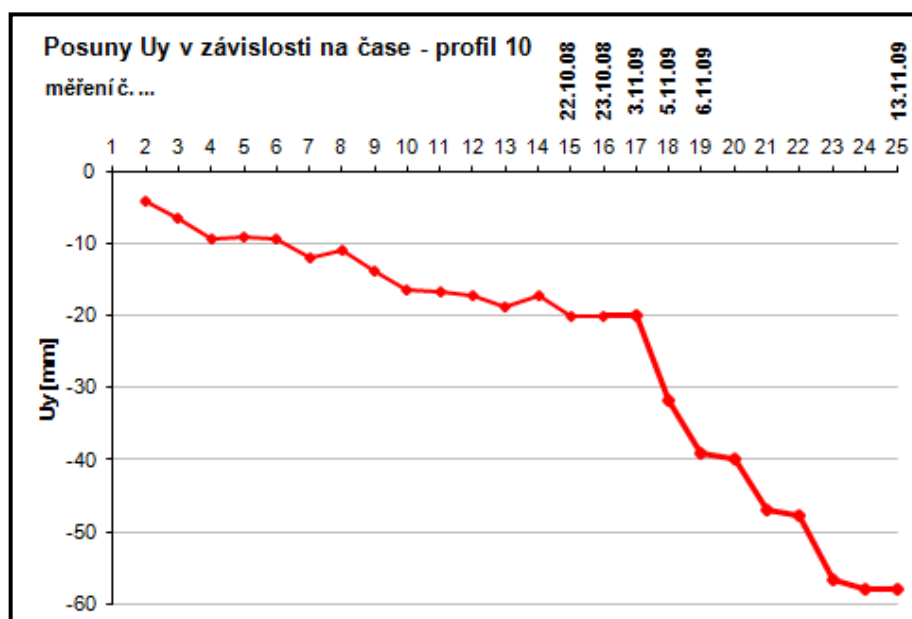
Ze zájmového období jsou sledovány posuny v měřických profilech 8 - 11, které byly od sebe vzdáleny cca 10 m a nacházely se v místě závalu. Měření probíhala po dobu prvních dnů od osazení měřických bodů zpravidla co den, následně pak co dva dny, týden a 14 dní až do ustálení vývoje posunů (cca polovina září 2008). Další měření jsou datována z počátku listopadu 2009, cca 14 dní před závalem. V meziobdobí nejsou data k dispozici a výrazně rozdílné polohy souřadnic bodů mezi posledním a prvním měřením v tomto „hluchém“ období svádí k domněnce o manipulaci s měřickými body. Proto je toto období z vyhodnocování vyeliminováno srovnáním velikostí posunů před a po hluchém období.

V grafu č. 1 je vykreslen vývoj podélných posunů u_z (posunů ve směru osy díla) v měřickém profilu č. 10. Kritické období, ve kterém došlo k havárii je zvýrazněno a datově označeno. Z vývoje je patrný strmý přírůstek posunů v tomto časovém období. Možná zajímavější je ale progres posunů před hluchým obdobím. Do ukončení sledování posunů v první etapě, je-li to tak možné nazvat, nedošlo k ustálení přírůstků a i celková velikost posunů v tomto období je pro posuny ve směru podélné osy dosti vysoká.

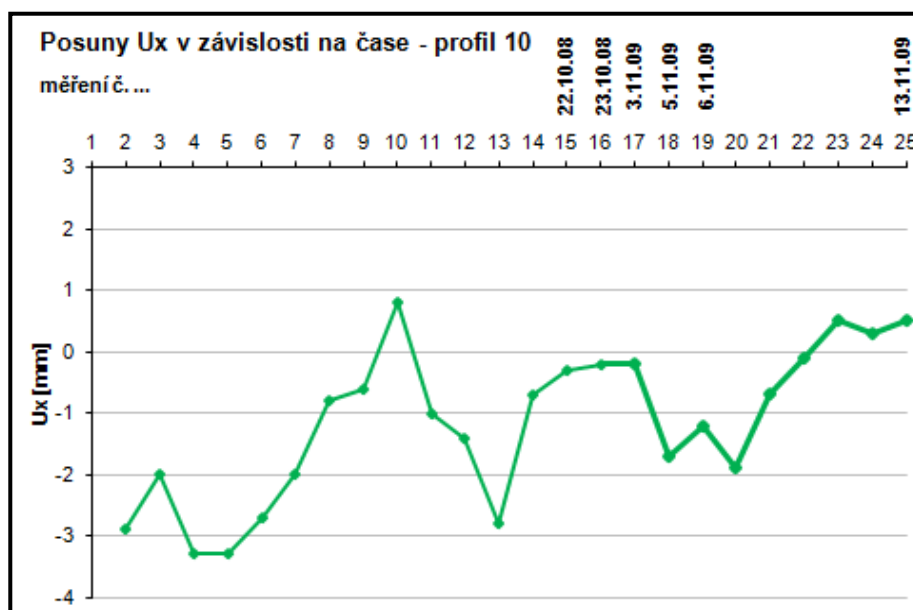


Graf č. 1: Vývoj podélných posunů u_z v profilu 10

V grafech č. 2 a 3 jsou znázorněny posuny kolmé ke směru podélné osy díla. Jejich vývoje také nevykazovaly v první ani v druhé etapě měření tendenci ustálit se. Svislé posuny u_y s každým měřením narůstaly a příčné posuny u_x mají, i když ne ve velkých absolutních hodnotách, kolísavý charakter. Obdobně je tomu tak i v dalších kritických měřicích profilech, kromě profilu 11, kde se velikost svislých posunů ustálila na necelých 15 mm (viz. Příloha 1).

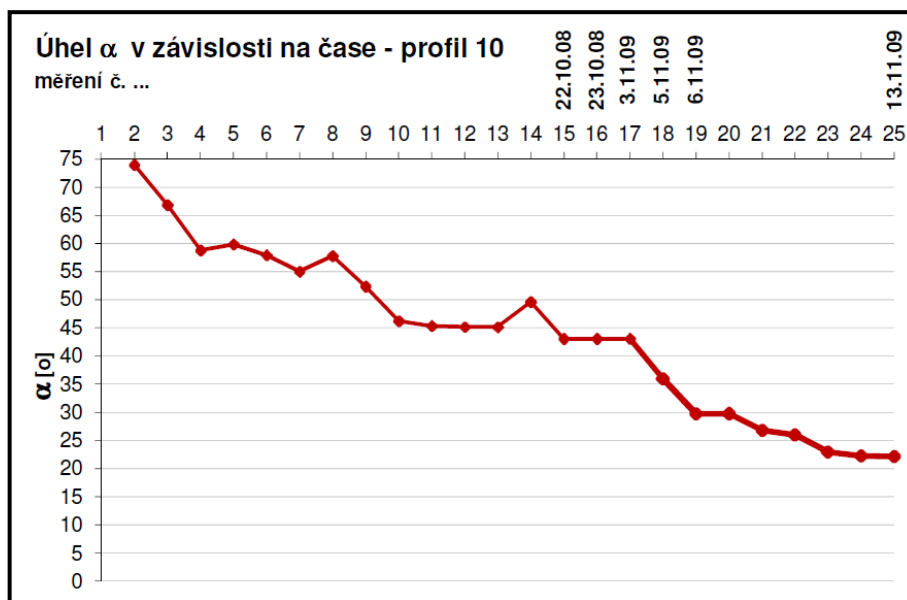


Graf č. 2: Vývoj svislých posunů u_y v profilu 10

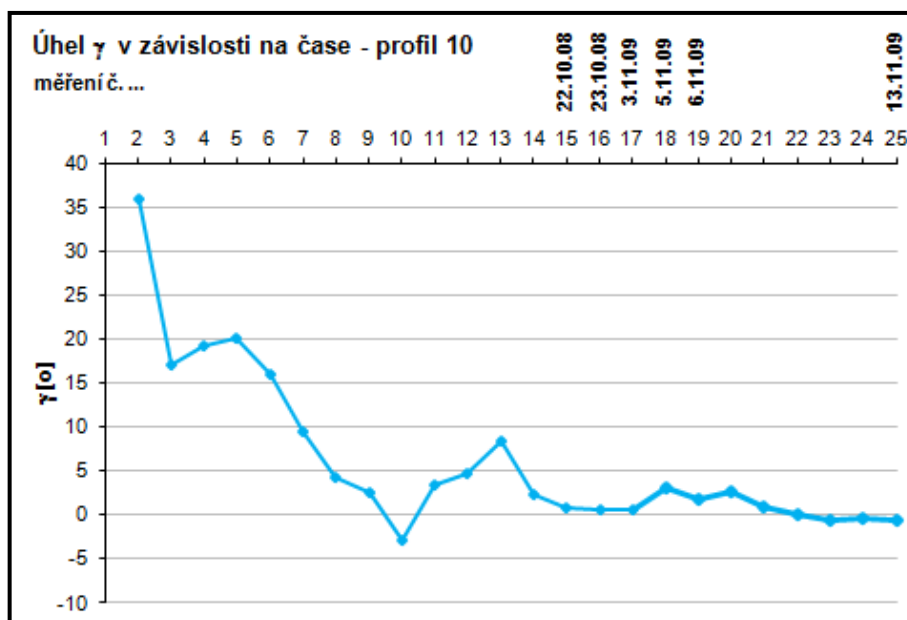


Graf č. 3: Vývoj příčných posunů u_x v profilu 10

V následujících grafech je možné vidět vývoje směrových úhlů v měřickém profilu 10, které jsou stanoveny dle metodiky uvedené v kapitole 2.3. Vývoje z profilů 8, 9 a 11 jsou součástí přílohy 1. Z většiny z nich je zcela zjevné, že jejich vývoje nejsou ideální a nenaznačují ukončení posunů.

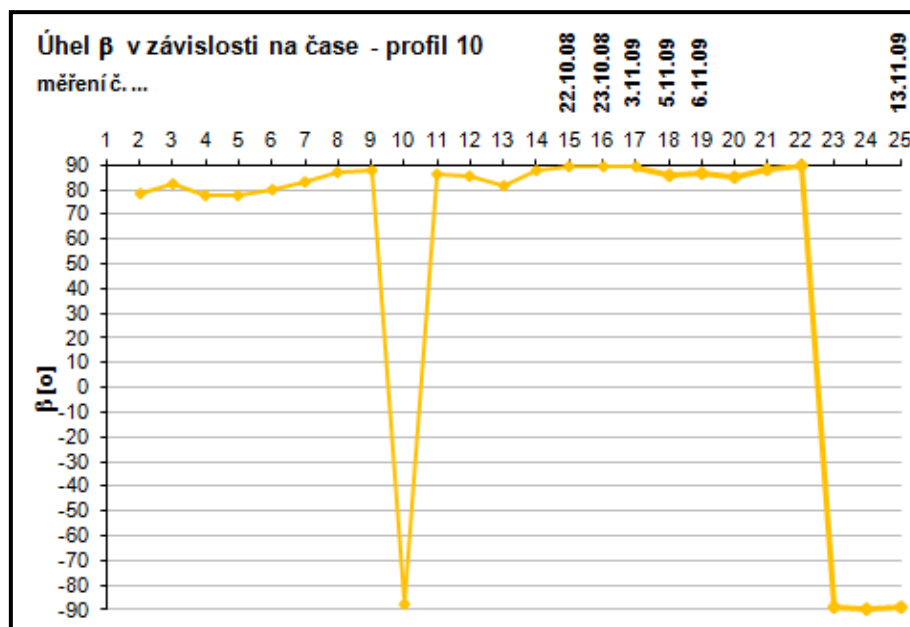


Graf č. 4: Vývoj směrového úhlu α v profilu 10



Graf č. 5: Vývoj směrového úhlu γ v profilu 10

Nekonzistentní je vývoj směrových úhlů β . Důvodem je skutečnost, že i malá změna velikosti posunů, v tomto případě u_x , může znamenat změnu kvadrantu ve specifikované konvenci. Na druhou stranu ukazují na kolísání směru posunů.



Graf č. 6: Vývoj směrového úhlu β v profilu 10

3.1.2 Shrnutí vyhodnocování posunů k predikci havarijních stavů tunelu

Z pohledu komplexního sledování chování výlomu tunelu není žádoucí opomínat důležitost vývoje posunů ve směru podélné osy. Nabývají sice mnohem menších hodnot oproti standardně sledovaným svislým posunům, zároveň však citlivěji reagují na změnu rozložení napjatosti v okolí tunelu. V konkrétním případě bylo vidět, že i když se zdál být vývoj svislých posunů ukončen, u podélných posunů tomu tak nebylo.

Stejně tak vývoj směrových úhlů neměl ideální charakter a mohl napovídat něco o neustálém „živém“ chování výlomu. Je sice možné namítnout, že z matematické podstaty i malá velikost změny posunu v jednom směru mění výrazně velikost směrového úhlu, zvláště pak při změně směru, ale právě tato skutečnost předurčuje směrové úhly k jejich použitelnosti v predikci havarijních stavů tunelů ve složitých geotechnických podmínkách. V ideálním případě by totiž měly mít směrové úhly po počátečním uklidnění průběh bez výrazných přírůstků a skokových změn. O praktické použitelnosti systematiky směrových úhlů hovoří skutečnost, že v zahraničí je obdobná matematická analýza posunů již využívána a dokonce i na tunelu Jablunkov, po dříve uvedených komplikacích, byla podobná metodika do monitoringu zapracována.

3.2 Tunel Klimkovice

Dálniční tunel Klimkovice, uvedený do provozu 6.5.2008, je součástí dálnice D1 a nachází se nedaleko stejnojmenné obce, v úseku Bílovec - Ostrava. Tunel se skládá ze dvou tubusů, které obsahují dva jízdní pruhy. Tubus A ve směru Brno-Ostrava má délku cca 1076,83 metrů. Z této délky bylo 864,82 m raženo. Tubus B, v opačném směru, je dlouhý 1088,09 m a ražený úsek měl délku něco málo přes 875,27 metrů.

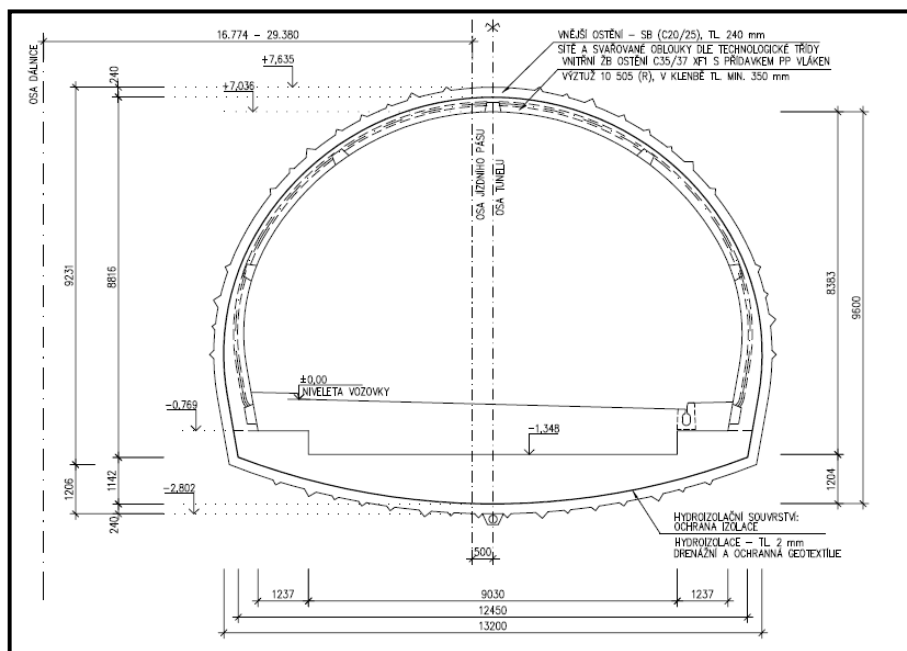


Obr. č. 7: Pohled na tunel Klimkovice ve finální fázi výstavby

Samotná jeho ražba probíhala NRTM, z největší části s horizontálním členěním výrubu (kalota-opěří-dno). Průměrná plocha výrubu je $120,17 \text{ m}^2$, z toho kaloty cca 56 m^2 . V ražených úsecích je primární ostění realizováno ze stříkaného betonu třídy C20/25 o minimální tloušťce 240 mm, klasicky vyztuženo KARI sítěmi a příhradovými nosníky (BTX) a doplněno horninovými svorníky. Sekundární železobetonové ostění z betonu C30/37 má tloušťku minimálně 350 mm, v protiklenbě pak až 1200 mm.

Díky přítomnosti nedalekého lázeňského centra a předpokládané složité geologii byl před samotnou ražbou tunelu Klimkovice proveden rozsáhlý geotechnický průzkum, který byl po celou dobu ražby upřesňován a doplňován geotechnickým monitoringem. Z tohoto důvodu jsou současné geologické a hydrogeologické poměry v této oblasti detailně prozkoumány. Maximální mocnost nadloží tunelu je 31 m. Tunel byl realizován ve skalních až poloskalních horninách flyšových souvrství s různými stupni zvětrání, které jsou tvořeny převážně jílovci

a prachovci, dále pak drobami a pískovci. Kvartérní pokryv tvoří hlavně sedimenty jemnozrnných zemin, místy se vyskytují zeminy tříd G3-G4. Podzemní voda se vyskytovala většinou až ve zvětralé povrchové vrstvě skalního masivu nebo v jeho puklinách a její proudění záviselo na dotacích z povrchových vrstev.



Obr. č. 8: Příčný řez tubusem A tunelu Klimkovice

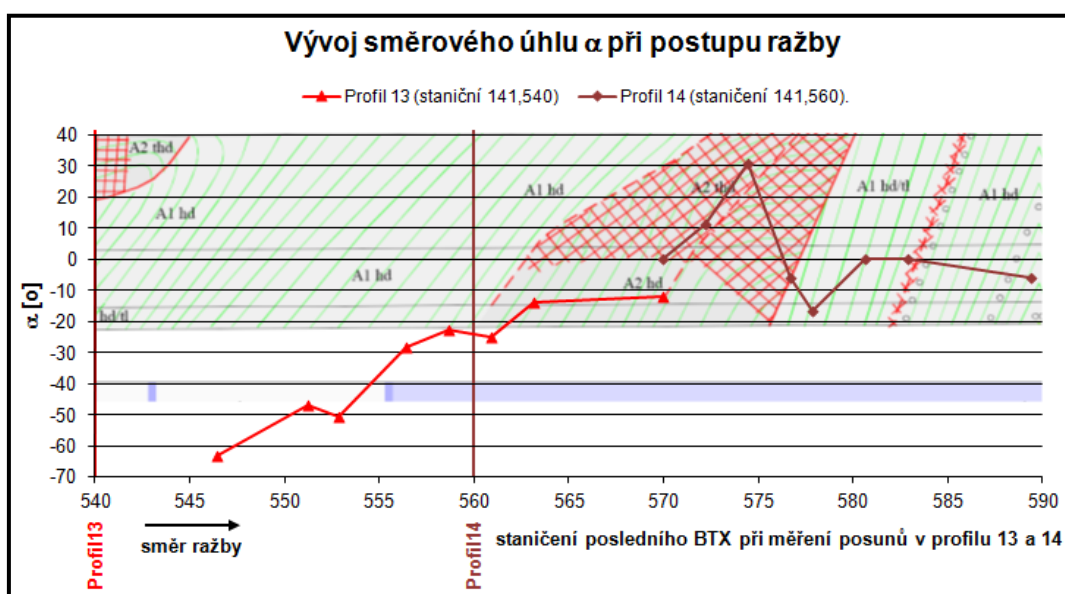
3.2.1 Vyhodnocování posunů k predikci kvality prostředí v předpolí tunelu

Na ilustračních výstupech z monitoringu posunů primárního ostění tubusu B, tunelu Klimkovice jsou ukázány typické vývoje posunů a především směrových úhlů. S ohledem na dostupná data a zaměření DP jsou analyzovány pouze posuny ve směru podélné osy díla (dle předchozí definice u_z) a směrové úhly α . Podkladem jsou data ze závěrečné zprávy II. etapy inženýrskogeologického a geotechnického průzkumu vypracovaného firmou GEOTest Brno a.s. a z geotechnického monitoringu realizovaného firmou SG-Geotechnika a.s. V průběhu ražby byly sledovány posuny v měřických profilech, které byly od sebe vzdáleny zpravidla 20 m. Měření probíhala po dobu prvních sedmi dnů od osazení měřických bodů co den, následně pak co tři dny do ustálení vývoje posunů. V našem případě je věnována pozornost posunům ve vrcholu tunelové trouby B, a to po dobu prvních 10 dnů od osazení měřických bodů záměrnými terčíky. Za toto období se čelba od měřického profilu posunula v průměru o 25 metrů.

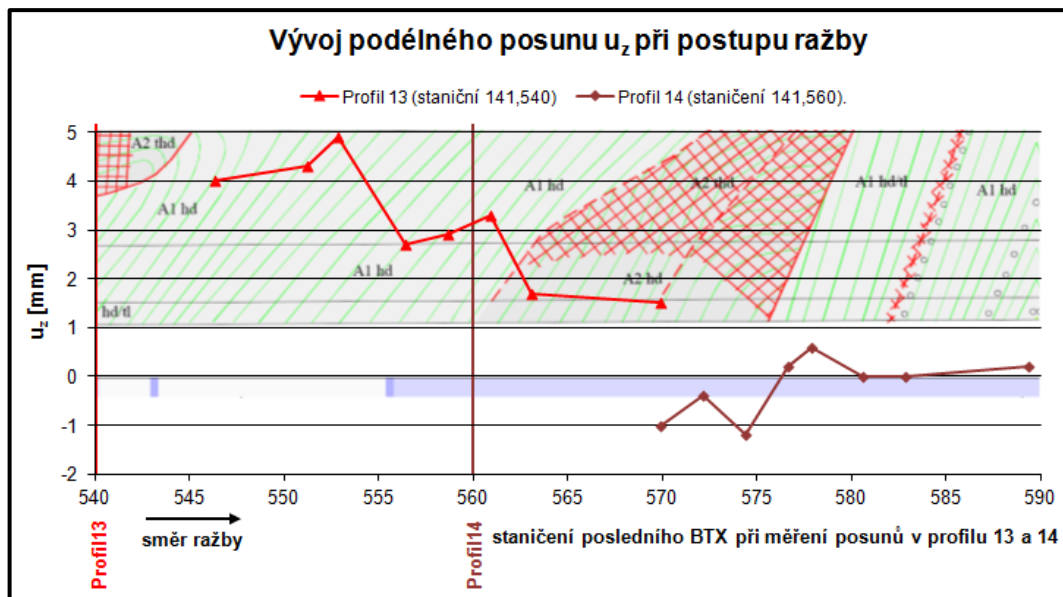
Při řešení výše nastolené otázky je vycházeno z podélného geologického řezu v ose tunelové trouby B (viz. Příloha 2), jenž shrnuje ověřenou geologii ze samotné ražby. Detailněji jsou

zpracovány tři charakteristické úseky, kdy čelba projde nebo prošla zónou porušení (prostředím s kvalitativně horšími vlastnostmi) a vývoj sledovaných charakteristik je porovnán s případem průchodu čelby úsekem s relativně konstantní geologií.

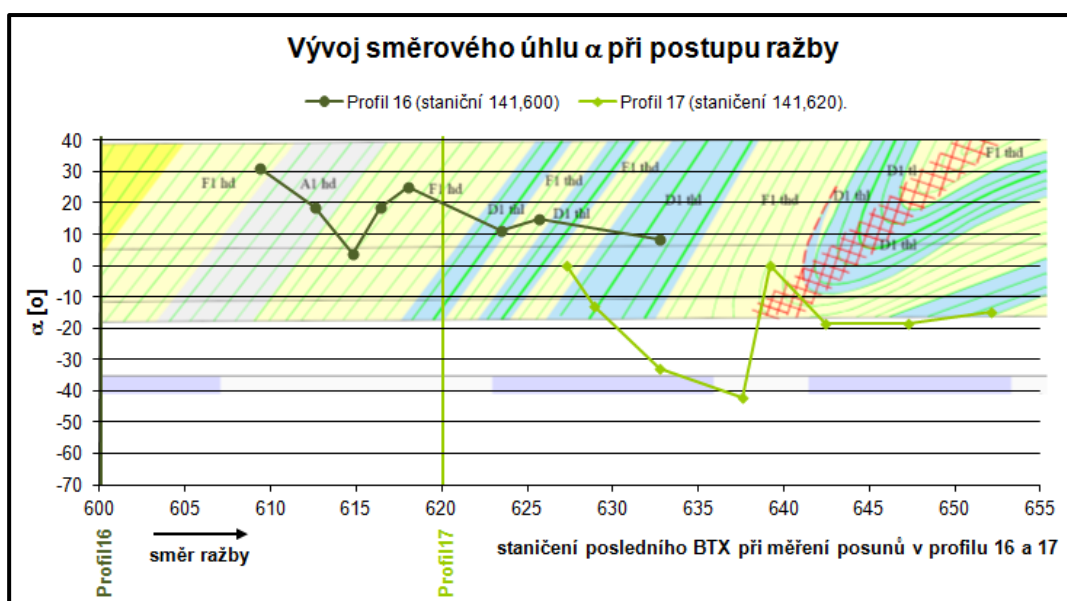
V grafech č. 7 - 12 jsou znázorněny vývoje směrových úhlů α a posunů u_z v příslušných měřických profilech, při postupu ražby, ve třech různých úsecích, které jsou, jak bylo řečeno výše, charakteristické svojí geologickou skladbou. Ta je zobrazena v pozadí každého grafu a odpovídá ověřené geologii ze samotné ražby. Hodnoty úhlů α, β, γ a posunů u_z viz. Příloha 2. Konkrétně v grafu č. 7 je znázorněn vývoj směrových úhlů α v profilech 13 a 14 vzdálených 223,613 m a 243,613 m od brněnského portálu. Z grafu vyplývá, že měřický profil 13 (staničení 141,540 km) se nachází něco přes 20 metrů od oblasti s výraznou tektonikou, která ovlivňuje v tomto měřickém profilu vývoj směrových úhlů. Z tohoto pohledu je možné s přibližováním čelby k zóně porušení sledovat výraznou tendenci změny úhlu α směrem k ní. V profilu 14 (staničení 141,56 km), ve kterém první měření posunů proběhla skoro s 10-ti metrovým odstupem čelby, je možné v počáteční fázi měření sledovat tu samou vývojovou tendenci, která se však po průchodu čelby tektonizovanou zónou začíná obracet. V závěrečné fázi ještě reagují měření v profilu 14 na tenkou tektonickou linii ve staničení cca 141,582 km. Pro ucelení představy o vývoji směru a velikosti posunů u_z v profilech 13 a 14 je v grafu č. 8 vykreslen jejich průběh, opět v závislosti na vzdálenosti čelby od měřických profilů.



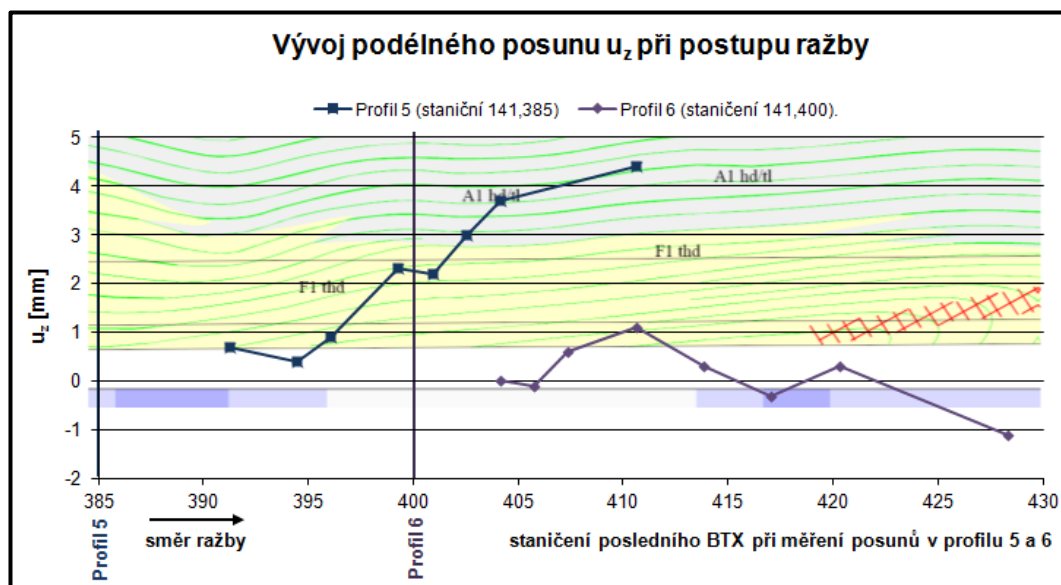
Graf č. 7: Vývoj směrového úhlu α – úsek 1

Graf č. 8: Vývoj podélného posunu u_z – úsek 1

Opačný případ vývoje směrového úhlu α vlivem geologie je znázorněn v grafu č. 9. Úhly vycházející z naměřených dat v profilu 16 reagujících na vrstevnatost prostředí a spíše indikují prostředí s kvalitativně lepšími vlastnostmi, což se odráží i v následujícím měřickém profilu 17, v prvních 4 měřeních. Následně ale dochází k obrácení tendence vývoje, což je možné přisoudit přítomnosti tektonicky narušené vrstvy. S dalším postupem čelby od měřického profilu 17 pak dochází opět k ustálení vývoje směrových úhlů a posunů ve sledovaném bodě.

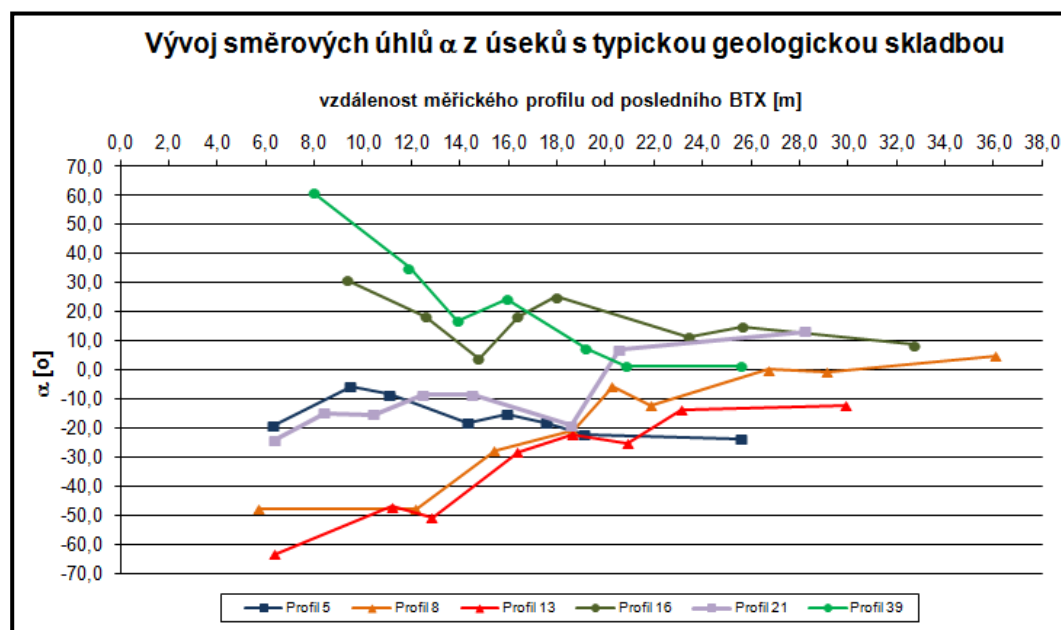
Graf č. 9: Vývoj směrového úhlu α – úsek 2

V grafu č. 12 je opět znázorněn vývoj podélných posunů v profilech 5 a 6, opět při postupu čelby od nich. Stejně jako tomu bylo v předchozích případech, je značně problematické z jejich vývoje vyvozovat nějaké závěry o tektonice nebo kvalitě okolním masivu. Důležitý je hlavně jejich směr a maximální přípustná hodnota pro stanovení varovných stavů.



Graf č. 12: Vývoj podélného posunu u_z – úsek 3

Zajímavé je srovnání vývoje směrových úhlů α v grafu č. 13, ve kterém jsou vykresleny současně předchozí příklady doplněné o další profily z úseků s typickou geologickou skladbou. Vývoje úhlů α jsou vyneseny v závislosti na vzdálenosti měřického profilu od posledního BTX.



Graf č. 13: Srovnání vývoje směrových úhlů α

Z jednotlivých průběhů je patrný typický sklon křivek pro konkrétní geotechnické poměry v předpolí ražby. Profily 16 a 39 se nacházejí před prostředím s lepšími geotechnickými poměry, profily 8 a 13 před prostředím s horšími geotechnickými poměry a profily 5 a 21 reprezentují vývoje směrových úhlů α v profilech nacházejících se v oblastech s konstantní geologickou skladbou.

3.2.2 Shrnutí vyhodnocování posunů k predikci kvality prostředí v předpolí tunelu

Shrnutí – potvrzeno, směrové úhly α , jejichž vývoj byl analyzován v závislosti vzdálenosti čelby od měřického profilu, vykazují s ohledem na geologii okolního prostředí tři základní tendenční chování: V případě, že se čelba raženého tunelu nachází v blízkosti prostředí s horšími kvalitativními vlastnostmi, má úhel α tendenci se k tomuto prostředí „stáčet“ a vektor posunů směřuje do tohoto prostředí. Opačně je tomu v případě přítomnosti vrstev hornin s lepšími pevnostními vlastnostmi. V případě relativně homogenního prostředí je vývoj směrových úhlů poměrně stálý, s malým kolísáním přírůstků s rozsahem maximálně cca 20°. U posunů ve směru osy díla tento závěr jednoznačně konstatovat nelze. Jejich vývoje jsou závislé na celkové prostorové změně polohy měřického bodu, což například v homogenním prostředí může vést k přijetí mylných závěrů o kvalitě předpolí, na rozdíl od směrových úhlů, kde je tento problém eliminován závislostí parametru na dvou směrech posunů. Jejich velikost je však základní indikátorem možných změn v geologii předpolí tunelu.

Z výsledků je také možné konstatovat, že progresivnější vývoj směrového úhlu α se dal očekávat do vzdálenosti cca 25 m od čelby, což odpovídá něco kolem 2 - 3 násobku šířky v té době ražené kaloty. Ve větší vzdálenosti měřického profilu od čelby byl vliv geologie na vývoje úhlů α i posunů u_z bezpředmětný.

(Podkladem kapitoly 3 byly, kromě v textu zmíněných materiálů a internetových zdrojů uvedených v závěru DP, projektové dokumentace k tunelu Klimkovice a Jablunkov).

4 MODELOVÁ ANALÝZA

V současnosti se nejčastěji pro řešení složitých prostorových úloh vlivu ražby podzemního díla na napěťo-deformační stav v masivu využívá matematického modelování. Z různých teorií se pro řešení úloh interakce podzemních konstrukcí s horninovým prostředím ukázala jako nejpoužitelnější numerická metoda konečných prvků, a to především díky své univerzálnosti a menší náročnosti na volbu výpočtových funkcí.

Disertační práce v této kapitole reviduje a rozšiřuje modelovou analýzu řešenou v diplomové práci (Marek 2005). Jsou zde prezentovány výsledky z parametrických výpočtů odezvy prostředí na ražbu tunelu, jenž je budován v homogenních, stejnorodých prostředích tvořených typickými druhy hornin. Dále jsou prezentovány výsledky simulací přítomnosti nehomogenit v okolí výlomu tunelu a je sledována reakce posunů a především pak směrových úhlů na ně. Cílem je stanovit předpokládané vývoje a velikosti podélných posunů a směrových úhlů pro různá typická homogenní horninová prostředí a snahou je popsat, co se dá očekávat ve vývoji posunů a směrových úhlů, když se v bezprostřední blízkosti výlomu bude nacházet prostředí s odlišnými geotechnickými vlastnostmi, tzn. na základě odlišného vývoje směrových úhlů a podélných posunů od „normálu“ predikovat změnu v kvalitě a charakteru obklopujícího prostředí.

V diplomové práci byl pro modelovou analýzu matematický model vytvořen v programu Plaxis 3D Tunel. Tento program je v odborné praxi spíše považován za „2,5D“. Důvodem je geometrické omezení při tvorbě modelů. Problém spočívá v automatické generaci sítě konečných prvků, které probíhá nejprve ve 2D ploše a následně se plocha „vytáhne“ do 3D prostoru, do segmentů o požadované šířce, ale s geometrií specifikovanou v prvotní 2D ploše. Přiřazování materiálových charakteristik v modelu je vázáno na jednotlivé segmenty, což neumožňuje nadefinování např. sklonu vrstev ve třetím směru, konkrétně ve směru osy ražby tunelu. V disertační práci proto modelová analýza vychází z výpočtů programového systému MIDAS GTS-3D, jenž je komplexnější a především umožňuje variabilní prostorovou definici geometrie modelu.

4.1 Programový systém MIDAS GTS-3D

Programový systém MIDAS GTS-3D (Geotechnical and Tunnel System) je komplexní výpočetní systém, který je založen na numerické metodě konečných prvků. Byl vyvinut pro napěťo-deformační, stabilitní a dynamickou analýzu geotechnických úloh a umožňuje simulaci lineárního i nelineárního chování zeminového a horninového prostředí. Dává

možnost modelovat jak hydrostatické, tak i hydrodynamické účinky vody v zeminách a také vzájemnou interakci mezi konstrukcí a prostředím. Zaměření tohoto systému je zejména na prostorové úlohy. Umožňuje ale i řešení rovinných úloh, případně rotačně symetrických.

Základní geometrie modelu se vytváří obdobně jako u CAD systémů. Základním prvkem geometrie je bod (vertex), dále křivka (edge, wire) a uzavřená křivka (polyline). Uzavřením obrysu těmito křivkami je docíleno plochy (face), spojením ploch pak objemového prvku označeného jako schránka (shell) nebo plný prvek (solid). Objemové prvky slouží pro přípravu 3D modelu, případně jednotlivé plochy mohou přímo tvořit prostorové prvky. Pro vytváření a úpravu prvků nabízí program celou řadu pomůcek, jako jsou operace typu spojení, dělení, rozdíl, vnoření, protažení, atd.. Plochy mohou být navíc tvořeny různými povrchy (surface). Vytvoření povrchů může být spojením několika křivek či úseček, načtením mapového podkladu, exportováním z CAD systémů, apod. Vytvořením samostatných objemových prvků je docíleno nadefinování geometrie prostorového modelu.

Následuje rozdělení prostorového modelu na konečný počet dílčích oblastí – konečných prvků, což je podstatou MKP (FEM). Dělení probíhá nejjednodušeji s využitím automatického generátoru sítě. Konečné prvky mohou mít lineární nebo kvadratickou tvarovou funkci. V případě prostorového numerického modelu je možné pro lineární tvarovou funkci použít osmi-uzlové šestistěny, šesti-uzlové pětistěny nebo čtyř-bodové čtyřstěny. Pro kvadratickou tvarovou funkci lze využít dvaceti-uzlové šestistěny, patnácti-uzlové pětistěny a deseti-uzlové čtyřstěny. Prostorové prvky jsou tedy definovány 4, 5 nebo 6 rovinami. Volba typu prvku ovlivňuje přesnost výpočtu a také časové nároky na realizaci výpočtu. Šestistěny dávají přesnější výsledky pro posuny i napětí, klínové a hranolové prvky mohou dávat relativně spolehlivé výsledky pro posuny, ale mohou mít horší vypovídací schopnost pro hodnoty napětí. Objemové pevné prvky mají v každém uzlu 3 translační stupně volnosti a žádné rotační stupně volnosti.

Prvkům je nutné přiřazení vlastností. U pevných prostorových prvků je potřebné pouze přiřazení materiálových vlastností, které simulují jejich lineární nebo nelineární chování. V geotechnické praxi má chování zemin často nelineární charakter. V softwarovém systému MIDAS GTS-3D lze volit z několika typů konstitutivních materiálových modelů, které popisují nelineární chování materiálu (v disertační práci použitý Mohr-Coulombův pružně-ideálně plastický konstitutivní model, dále model Tresca, von Mises, Drucker-Prager, Hoek Brown, Hyperbolický, Cam Clay, atd.). U ostatních typů prvků je nutné přiřazení jednak materiálových vlastností, jednak geometrických parametrů, jako jsou např. definice průřezu tyčových prvků, tloušťka desky u plošných prvků atd.. Modelu je ve finální fázi nutné přiřadit

okrajové podmínky a definovat možná zatížení. Správná definice materiálových a geometrických vstupních charakteristik modelu, stejně tak jako správné zadání okrajových podmínek a zatížení je základním předpokladem získání relevantních výsledků.

Programový systém umožňuje rovněž simulovat časový postup vytváření určité geotechnické stavby pomocí aktivování resp. deaktivování skupin elementů (simulace ražby tunelu po zabírkách s posupným vyztužováním, proces dílčích etap skryvky nadloží a těžby uhlí, postupné budování výkopové jámy s kotvením, aj.) Stupeň bezpečnosti pro potřeby stabilitních úloh je v tomto programovém systému definován jako poměr mezi dosažitelnou (vrcholovou) smykovou pevností a minimální smykovou pevností nutnou pro udržení rovnováhy (tzv. metoda redukce pevnostních parametrů ϕ -c reduction).

4.2 Výchozí závěry pro modelovou analýzu

Obecné výchozí závěry vyplývající z diplomové práce a z příkladů praktického využití vyhodnocování naměřených posunů (kapitola 3) pro modelovou analýzu jsou:

- Změna polohy bodu je závislá na přítomnosti nehomogenity v předpolí nebo okolí výlomu. Posuny v diplomové práci byly vyhodnocovány s důrazem na prostorovou změnu polohy měřických bodů. V disertační práci je kladen důraz na podélné posuny, tj. posuny ve směru osy tunelu.
- Pozornost v diplomové práci byla zaměřena na vývoj směrových úhlů. Z matematických modelů vyplynulo, že směrové úhly mají vývojovou tendenci závislou na poloze měřického bodu, pozici nehomogenity vzhledem k výlomu a na odlišnosti mechanických a geometrických vlastností nehomogenity vůči okolnímu prostředí. V disertační práci je sledován především vývoj směrových úhlů ve vrcholu tunelu, nehomogenity mají různé mechanické vlastnosti a mají různou geometrii (sklon).

Konkrétní výchozí závěry vyplývající z diplomové práce a z příkladů praktického využití vyhodnocování naměřených posunů (kapitola 3) pro následující modelovou analýzu:

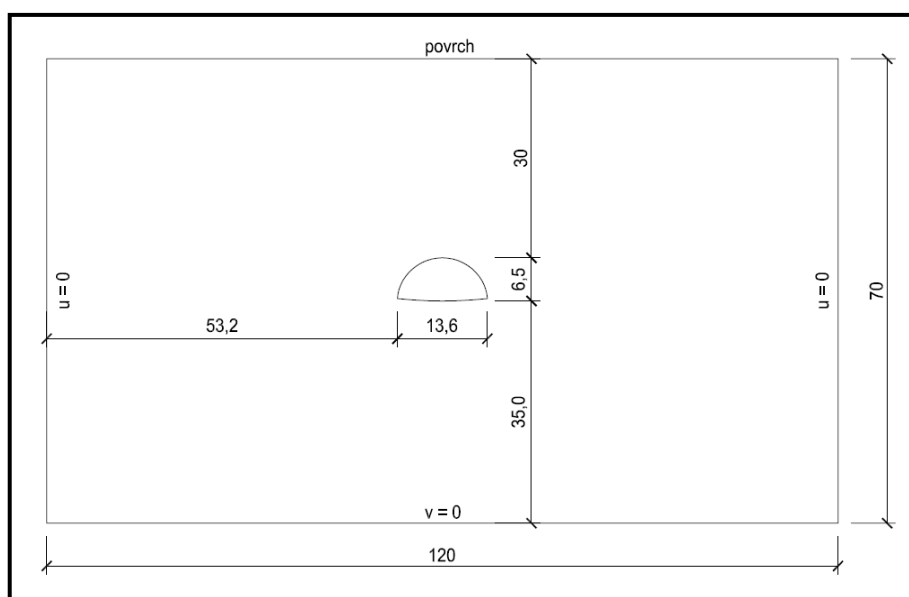
- Největší vliv na velikost posunů a vývoj směrových úhlů mají v následujícím pořadí přetvárné vlastnosti E_{def} a μ , menší pevnostní vlastnosti ϕ a c a nejmenší objemová tíha γ .
- Čím je nehomogenita větší a čím více se k ní přibližuje výlom, tím větší je odezva ve vývoji posunů a směrových úhlů.
- Vliv na vývoj posunů a směrových úhlů mají nehomogenity nacházející se ve vzdálenosti ne více jak trojnásobku šířky tunelu.

4.3 Numerický model

4.3.1 Geometrické parametry numerického modelu

Jako podklad pro parametrické výpočty posloužil kalota jednoho tubusu tunelu Klimkovice. Jeho geometrie, stejně jako plocha čelby, vychází ze vzorového příčného řezu, z projektové dokumentace. Plocha kaloty je proto cca 56 m², příčná detailní geometrie je na obr. č. 9.

Celkové minimální horizontální a vertikální rozměry modelu respektují doporučení výrobce programového systému MIDAS GTS-3D (viz. Literatura a Internetové zdroje). Vzdálenosti hranic modelu a obrysu tunelu by tudíž neměly být menší než pětinásobek výšky tunelu, což je podmínka, která je obvyklá i pro obdobné výpočetní systémy pracující na principu MKP. Modelová výška nadloží je konstantně 30 metrů a je volena s ohledem na charakter DP a skutečnou maximální mocnost nadloží tunelu Klimkovice. Celková délka modelu je 160 metrů.



Obr. č. 9: Základní geometrie modelu

4.3.2 Materiálové charakteristiky numerického modelu

Pro modelování chování výztuže je použit lineárně-pružný konstitutivní model, nelineární chování horninového materiálu je simulováno Mohr-Coulombovým pružně-ideálním plastickým konstitutivním modelem.

Samotné velikosti materiálových charakteristik pro parametrické výpočty vychází částečně ze skutečných vlastností horninového prostředí a požadovaných vlastností primární výztuže specifikovaných v technické zprávě RDS Klimkovického tunelu, částečně ze zkušenosti

a literatury (Klepsatel a kol., 2003) a (Turček, Hulla, 2004) a částečně z předchozích výpočtů prováděných v rámci diplomové práce (Marek, 2005).

Primární ostění uvažované jako skořepina ze stříkaného betonu (SB) má v modelu tloušťku $h_c = 0,24$ m, což je minimální hodnota požadovaná v technické zprávě pro realizaci Klimkovického tunelu. Velikost modulu pružnosti je zvolena $E_c = 17\,000$ MPa. Přibližně této hodnoty by měl SB dosáhnout po 10 dnech (dle Klepsatel a kol., 2003), jež je období, které je pro reálné vyhodnocení vlivu změny geologie na vývoj posunů nejdůležitější. Zároveň tato jednotná vyšší velikost, společně s koeficientem přenosu zatížení horninovým prostředím, nahrazuje svorníky, o které je model ochuzen z důvodu zjednodušení. Poissonovo číslo, po modulu pružnosti druhý, neméně důležitý přetvárný parametr, je klasicky zvoleno $\mu_c = 0,2$. Objemová tíha je uvažována o velikosti $\gamma_c = 24$ kN/m³. Koeficient přenosu zatížení je z výše zmíněného důvodu a ze zkušebních výpočtů přijat $0,3 : 0,7$, tzn. nevyztužený výlom přenáší 30% zatížení, vyztužený výlom pak 70% primárního zatížení.

Materiálové charakteristiky prostředí jsou voleny tak, aby svými velikostmi částečně odpovídaly skutečné geologii v okolí Klimkovického tunelu, zároveň jsou však voleny tak, aby výsledky parametrických výpočtů byly dostatečně vypovídající a bylo z nich možné vyvodit relevantní závěry. V modelu je uvažováno se čtyřmi typy materiálů, zastupujících různé kvality prostředí. Označeny jsou R2, R3, R5 a R6 a jejich parametry jsou uvedeny v tab. č. 1. Vlastnostmi odpovídají skalním a poloskalním horninám nižších pevností a vyššího stupně porušení. Materiál s označením R6 spadá svými přetvárnými a pevnostními vlastnostmi do velmi porušených poloskalních hornin úlomkovitého charakteru, případně do zemin typu štěrků. Vliv vody není v modelech uvažován.

	E [kPa]	σ_d [kPa]	μ	γ [kN/m ³]	c [kPa]	φ [°]
R2	500000	1500	0,2	24	200	50
R3	250000	495	0,25	23	55	45
R5	125000	155	0,25	22	15	40
R6	65000	-	0,32	21	2	35

Tab. č. 1: Materiálové parametry uvažovaných typů hornin

4.3.3 Numerický model 1

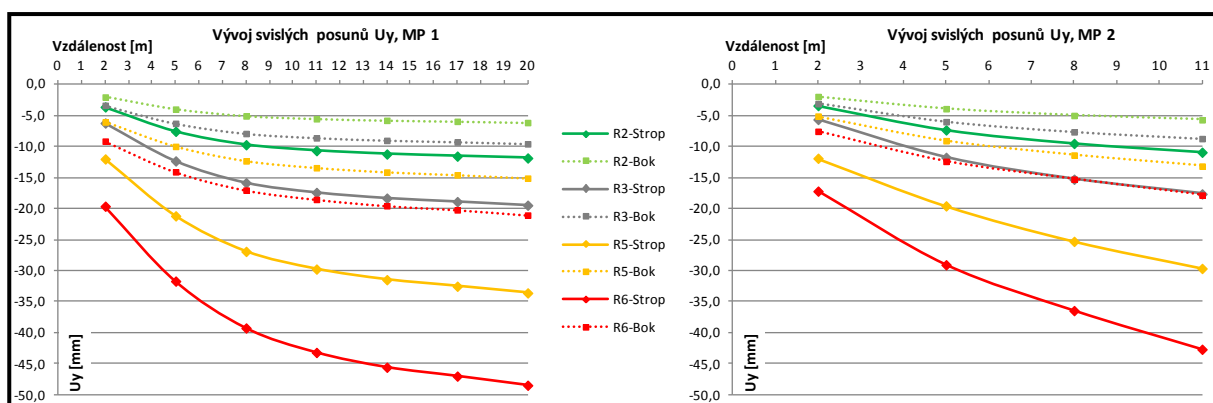
Numerický model 1 je referenčním a je v něm simulována ražba v homogenních prostředích, které mají vlastnosti jednotlivých typů materiálů z tab. č. 1. Cílem je stanovit základní

velikosti a tendence vývoje posunů a směrových úhlů, se kterými následně budou porovnávány výsledky z dalších modelů.

V modelu je ražba tunelu simulována, stejně jako v dalších modelech, po zabírkách s posupným vyztužováním, kdy fázi výlomu následuje fáze vyztužování.

Přetváření výlomu je sledováno především v měřických profilech, v jednotlivých fázích výlomu a vyztužování. Měřické profily jsou dva, jeden ve vzdálenosti 2-20 metrů od čelby (označení MP 1) a druhý 2-11 metrů od čelby (MP 2). Velikosti a vývoje posunů a směrových úhlů jsou vyhodnocovány z pohledu vzdalující se čelby od měřických profilů. V následujících modelech se vzdalující čelba bude současně přibližovat k nehomogenitám.

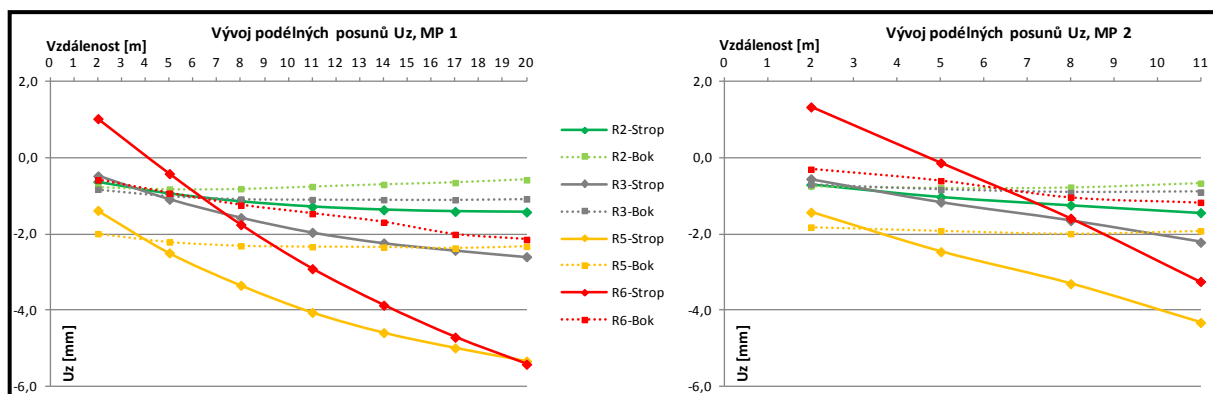
V grafech pod souhrnným označením č. 14 a č. 15 jsou vykresleny průběhy svislých U_y a podélných U_z posunů ve 4 typech homogenních prostředí a to pro měřické body ve stropě a v boku výlomu, kdy body v boku jsou cca 1,5 m pod vrcholem, z pohledu čtenáře napravo ve směru ražby. Svislé posuny mají očekávaný směr a řádově předpokládané velikosti. Nejmenší posuny jsou v nejkvalitnějším prostředí, největší posuny, z pohledu kvalitativního, v nejhorsím prostředí. U MP 2 je vidět, že ještě nedochází ke konvergenci k určité hodnotě.



Graf č. 14: Srovnání vývoje posunů U_y v různých homogenních prostředích

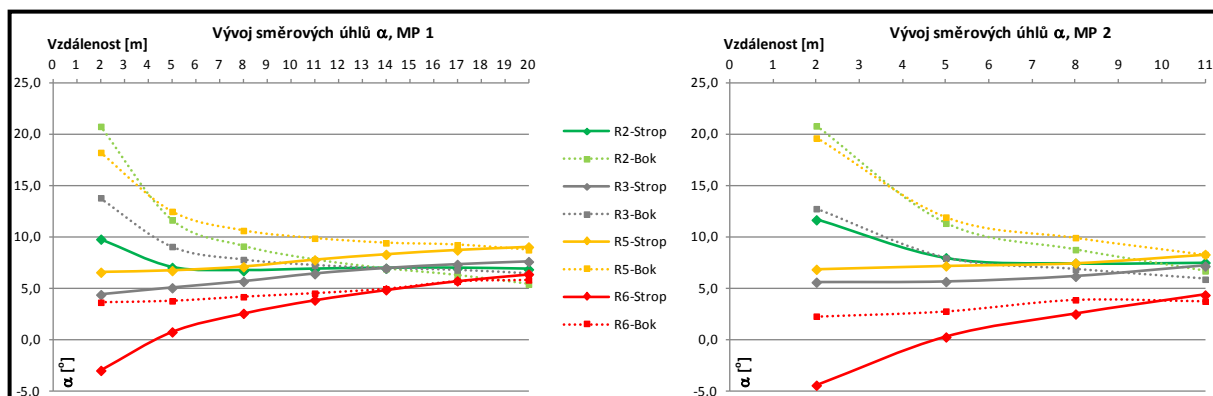
U podélných posunů v měřických bodech, nacházejících se ve stropě, je vývojová tendence směrem k čelbě. Je to dáno volnou plochou čelby kaloty. Jejich velikost se se vzdalováním čelby od měřických profilů zvyšuje. U materiálů typu R2 a R3 je to změna v řádu 1-2 mm, u R5 a R6 až 6 mm. K jejich ustálení dojde v závislosti na kvalitě prostředí mezi 20-35 metry za postoupivší kalotou, což je patrné z podélných řezů v Příloze 3. Z toho vyplývá, že podélné posuny mají relativně dlouhý dozívající charakter daný opakovaným odlehčováním výlomu postupem ražby.

V boku výlomu je v homogenním prostředí rozvoj posunů U_z minimální. Se snižováním vlastností prostředí se ale tendence přibližují vývojem posunů bodů ve stropě.



Graf č. 15: Srovnání vývoje posunů U_z v různých homogenních prostředích

Vývoj směrového úhlu α je znázorněn v grafu č. 16. V prostředí kvalitnějším má jak ve stropě, tak v boku vývojovou tendenci směrem do výrubu, u horších má vývojovou tendenci opačnou, tj. do čelby.



Graf č. 16: Srovnání vývoje sm. úhlů α v různých homogenních prostředích

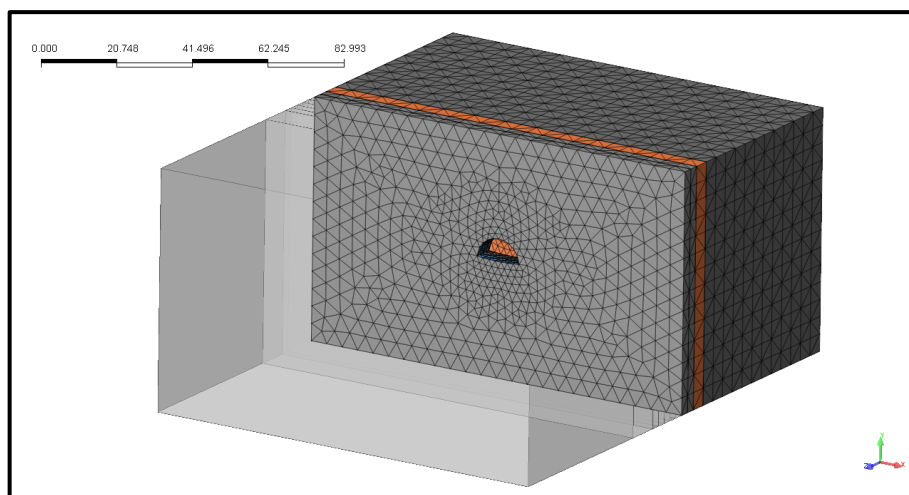
Pozn.: Data pro grafy všech numerických modelů jsou přílohou této DP.

4.3.4 Numerický model 2

V numerickém modelu 2 je simulována nehomogenita, která se nachází před čelbou a výlom se k ní postupně od měřického profilu MP 1 a následně i MP 2 přibližuje. Mocnost nehomogenity je 5 metrů a je rovnoběžná s čelbou (pohled v axonometrickém zobrazení je na obr. č. 10).

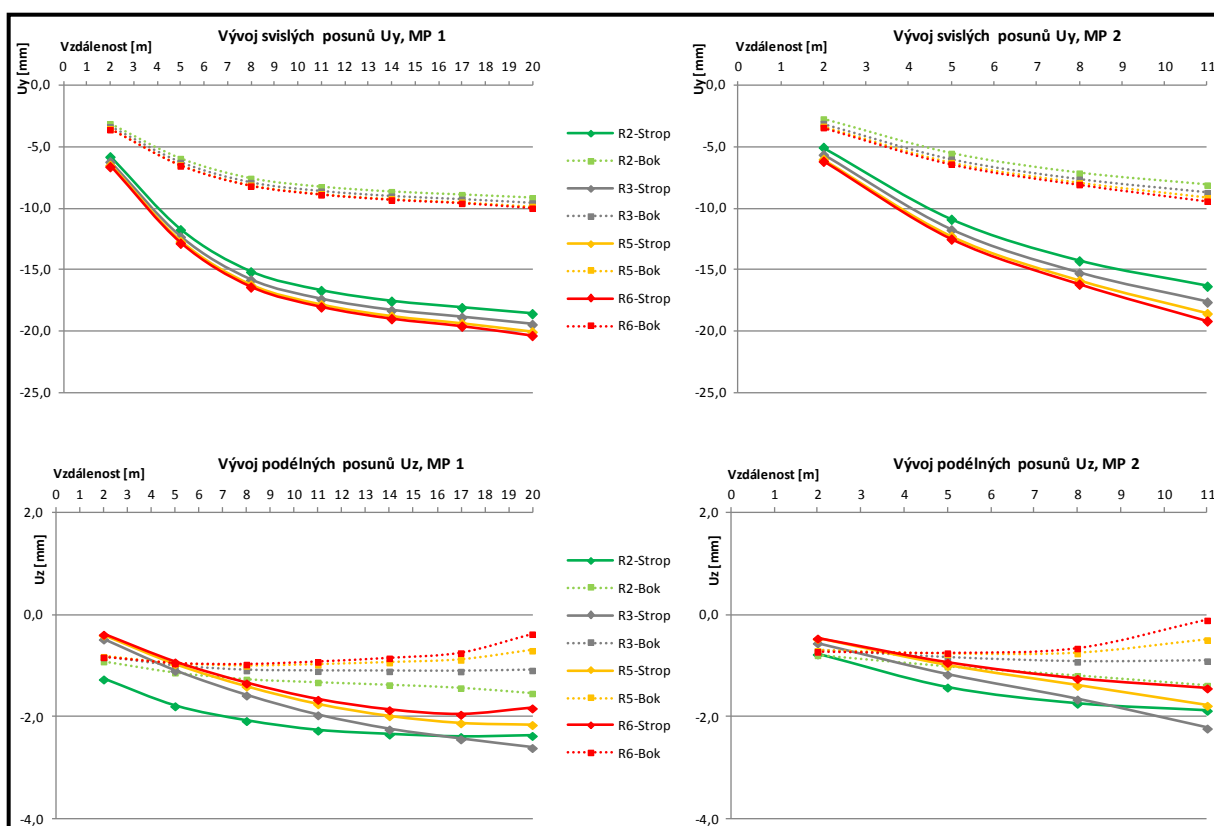
Zvoleným průvodním materiálem je hornina R3 a nehomogenita je tvořena materiály R2, R5 nebo R6. Snahou je zjistit, jak se změní napěťo-deformační stav, když se ražba přibližuje ke kvalitnějšímu prostředí (R2) nebo ke kvalitativně horšímu prostředí (R5 nebo R6).

V Příloze 5 je řez modelem s příkladem grafického vykreslení vývoje podélných posunů U_z v závislosti na přibližování čelby k nehomogenitě tvořené horninou R5.



Obr. č. 10: Axonometrický pohled na schéma modelu 2

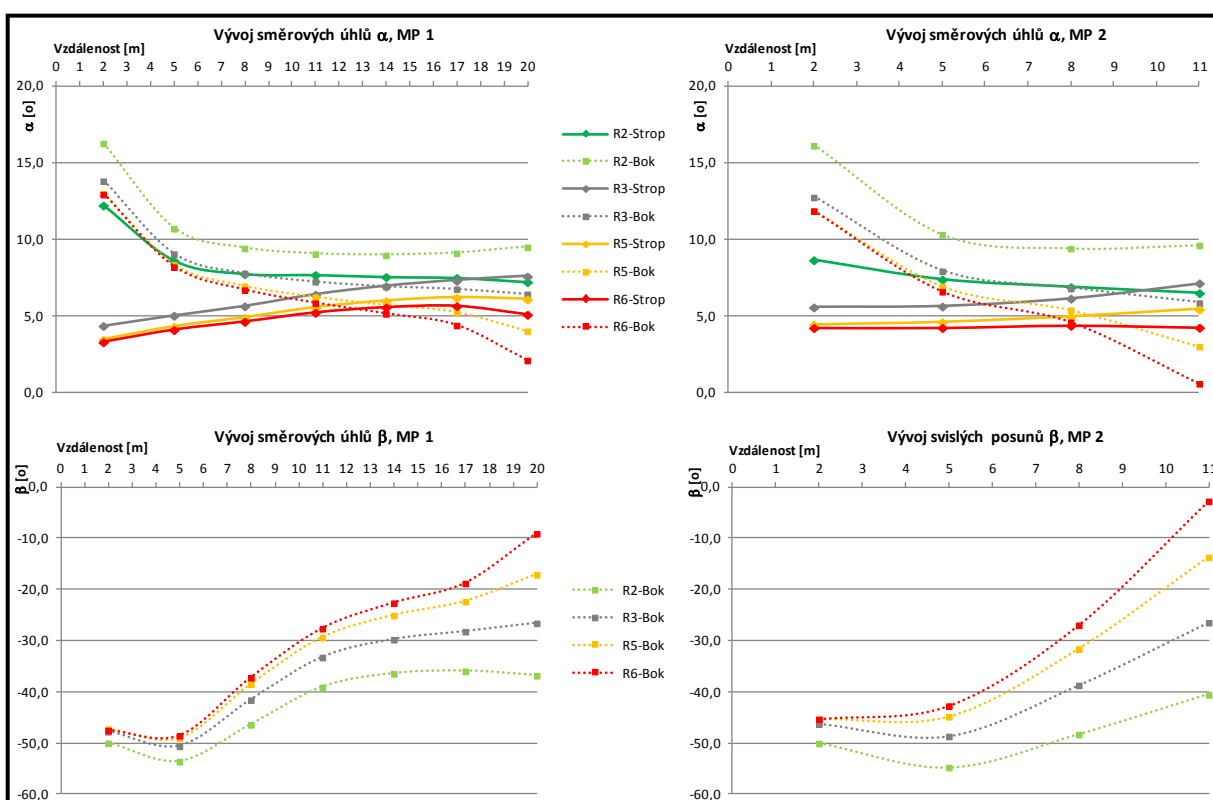
V následujících grafech je srovnání průběhu sledovaných parametrů vůči průběhu v homogenním prostředí, které je znázorněno křivkami označenými jako R3 (průběh v hornině R3 z předchozího modelu). Křivky R2, R5 a R6 označují vývoje parametrů v prostředí R3 s nehomogenitami tvořenými právě materiály R2, resp. R5 a R6.



Graf č. 17: Srovnání vývoje posunů Uy a Uz – model 2

Z průběhů posunů U_y a U_z v měřických bodech ve stropě díla je patrné, že rozdíly mezi R3, R5 a R6 nejsou nijak zvláště výrazné. Pouze mezi R3 a R6 je u svislých posunů s přibližováním čelby k nehomogenitě vidět výraznější rozcházení křivek. Zajímavější je však odlišný vývoj podélných posunů v prostředí s nehomogenitou R2. Z počátku je velikost posunů vyšší směrem do prostředí, ale s přibližováním k nehomogenitě se směr otáčí. Je to dáno asi tím, že nehomogenity s horšími vlastnostmi „tlačí“ více proti nevyraženému horninovému celíku, po větším přiblížení výlomu k nim se ale napjatost přeskupuje směrem do volné plochy výlomu. Naproti tomu průběh směrového úhlu α má v případě nehomogenity R2 tendenci stálou, klesající (stáčejí se od nehomogenity do výlomu), kdežto u ostatních je tomu opačně, což je velmi důležitý poznatek.

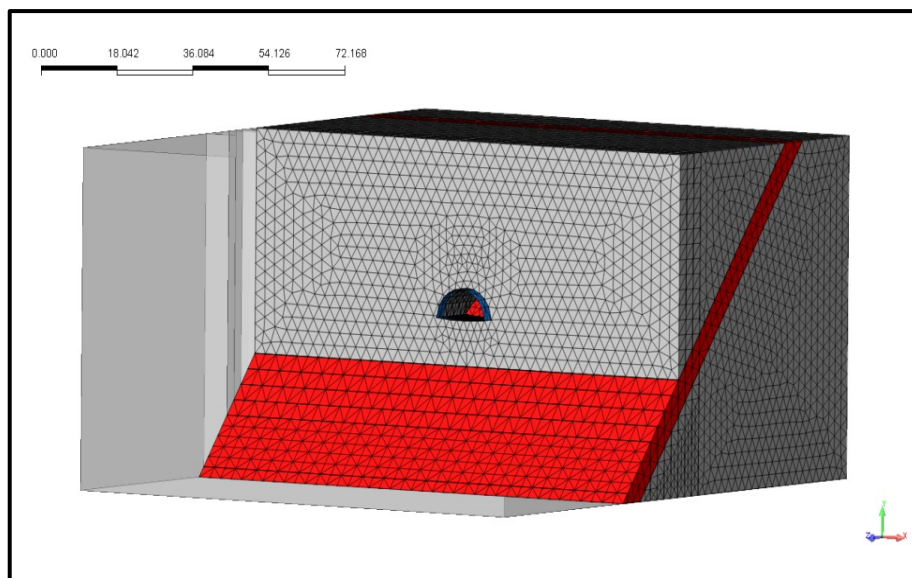
Zajímavé jsou také velikosti směrových úhlů měřických bodů v boku výlomu. Rozdíly pro různou geologickou skladbu ve směrech i velikostech jsou dosti výrazné a jsou tím větší, čím jsou vlastnosti nehomogenit odlišnější od průvodního prostředí. To platí jak pro směrové úhly α , tak pro směrové úhly β , které svírají výslednice posunů U_x-U_z se směrem daným osou x . U svislých posunů jsou rozdíly ve vývojích téměř nulové, u podélných jsou patrnější, ale absolutní rozsah velikostí je velmi malý, do 2 mm.



Graf č. 18: Srovnání vývoje směrových úhlů α a β – model 2

4.3.5 Numerický model 3

V numerickém modelu s pořadovým číslem 3 je opět simulována nehomogenita, která se nachází před čelbou a výlom se k ní postupně přibližuje. Její mocnost je opět 5 metrů, na rozdíl od předchozího modelu má ale sklon 45° (schéma na obr. č. 11). Stejně jako v předchozím případě je i značení jednotlivých křivek a předpoklad průvodního prostředí R3 s nehomogenitami R2, R5 a R6.

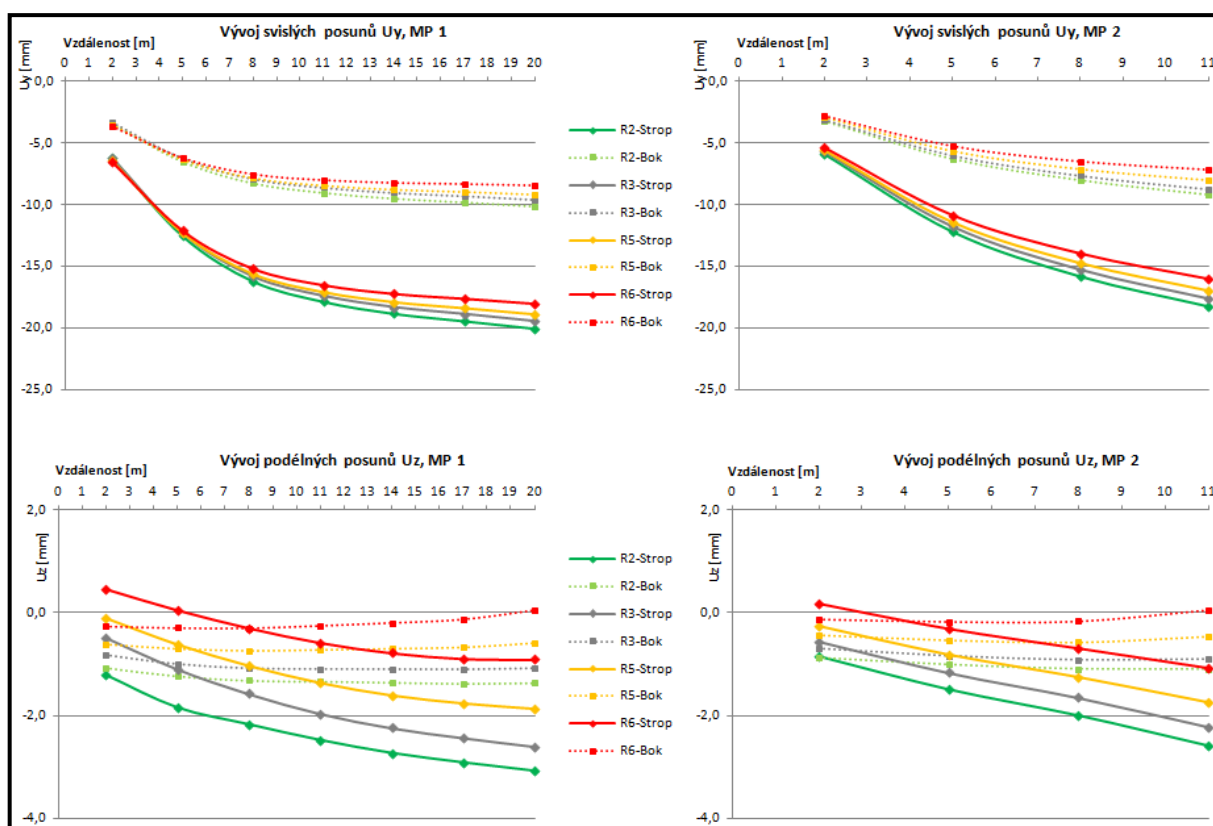
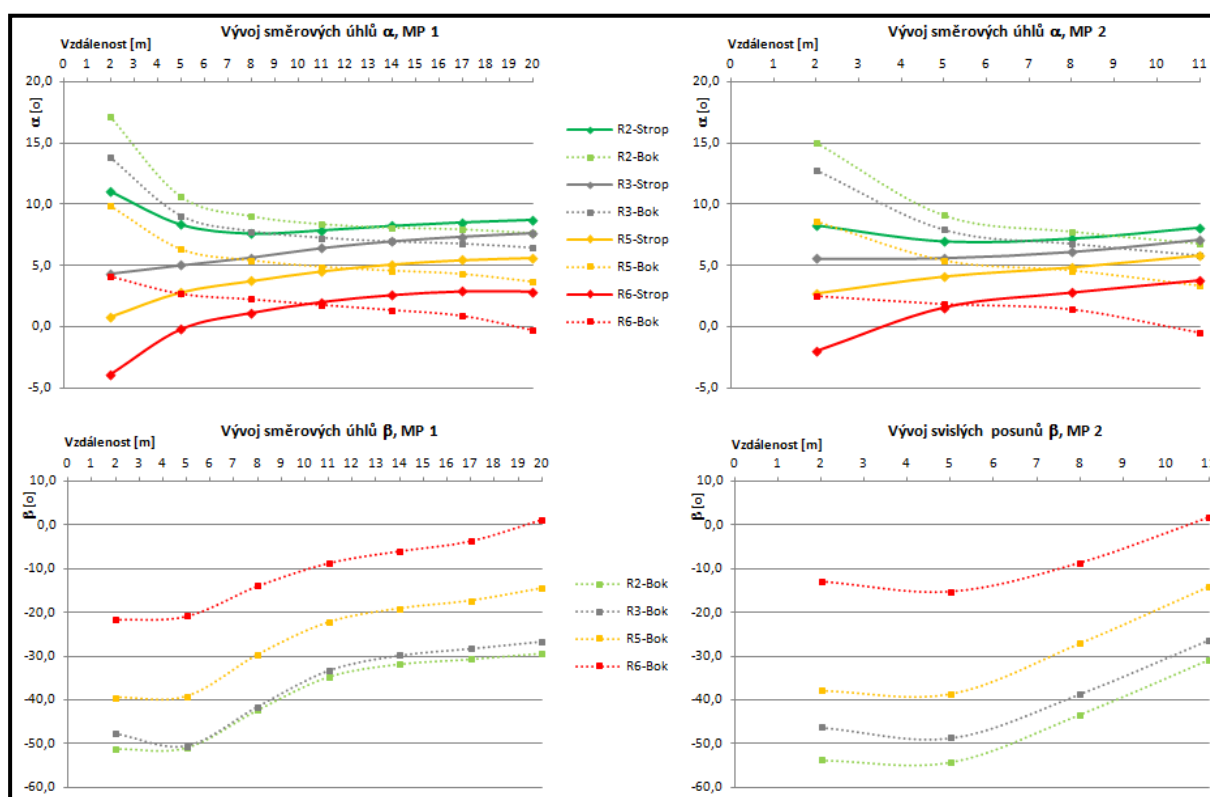


Obr. č. 11: Schéma modelu 3

V příloze 7 je vykreslen vývoj podélných posunů ostění tunelu v závislosti na přibližování se čelby k nehomogenitě tvořené materiálem R6. Následující příloha obsahuje vstupní hodnoty ke grafům 19 a 20.

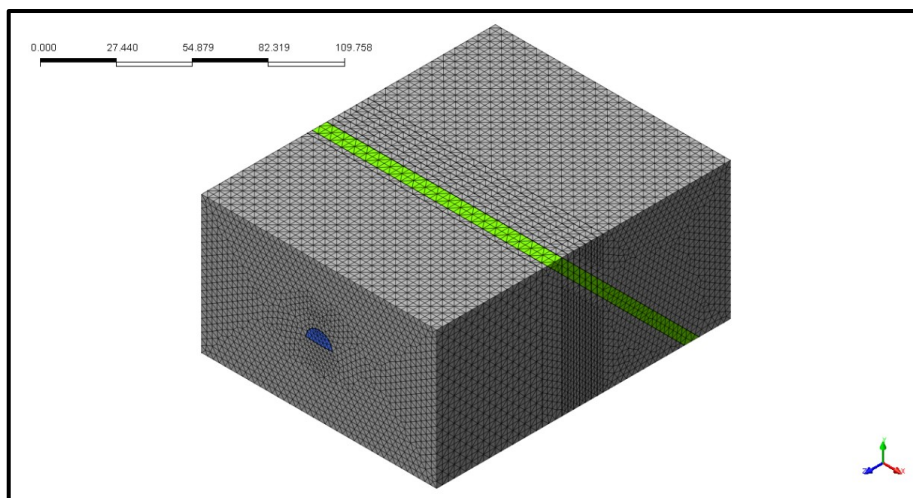
Porovnáním grafů z předchozího modelu a grafů z modelu 3 je zřejmý větší rozdíl mezi podélnými posuny U_z , kdy v modelu 3 mají posuny ve stropě i v boku díla konstantní přírůstek v závislosti na kvalitě prostředí nacházejícím se v předpolí. Větší je i samotný rozsah velikostí. Velikosti a průběhy svislých posunů jsou naproti tomu obdobné.

Větší rozsah v závislosti na kvalitě předpolí vykazují také směrové úhly. Opět platí, že směrové úhly α pro body ve stropě mají tendenci se více stáčet do kvalitativně horšího prostředí. Směrové úhly v boku díla mají ale navíc, na rozdíl od předchozího modelu, s přibližováním k nehomogenitě odlišné kvality konstantní difference velikostí.

Graf č. 19: Srovnání vývoju posunů U_y a U_z – model 3Graf č. 20: Srovnání vývoju směrových úhlů α a β – model 3

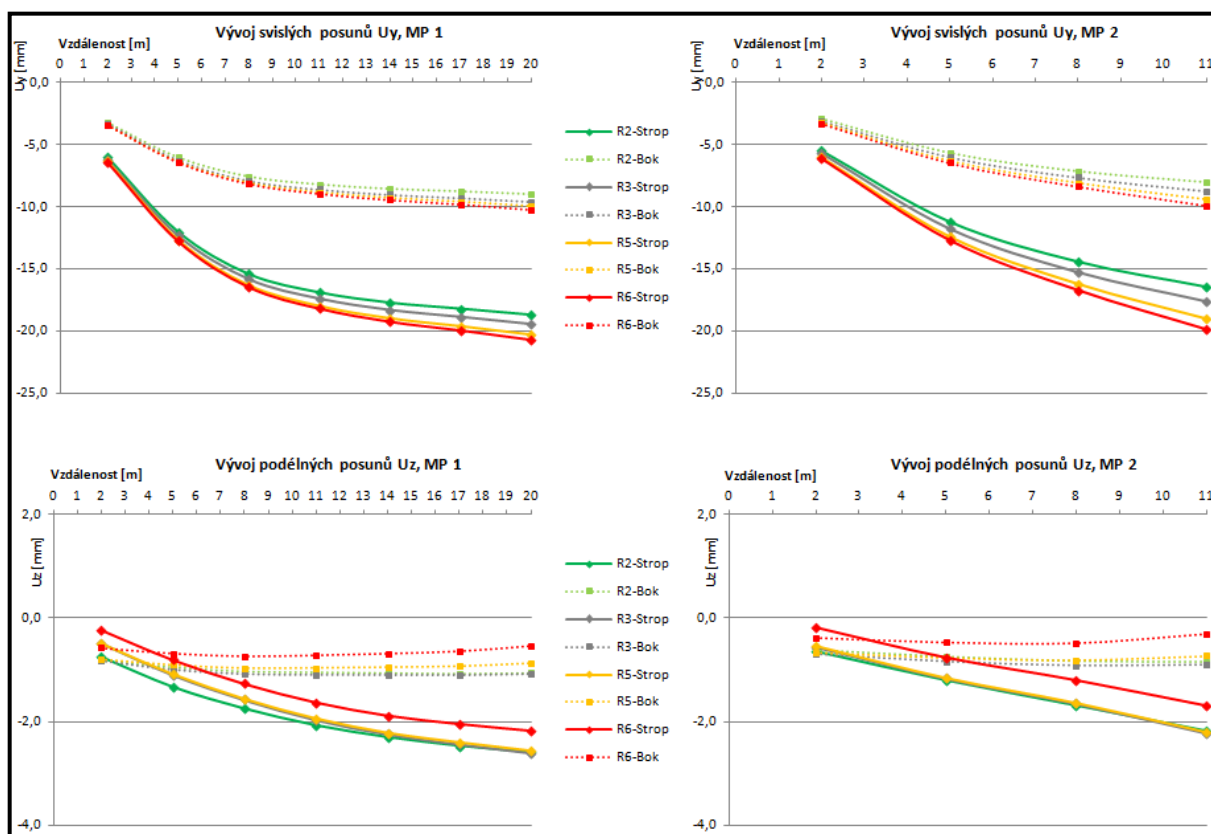
4.3.6 Numerický model 4

Parametry tohoto numerického modelu jsou zcela totožné s předchozím, pouze nehomogenita má vzhledem k tunelu opačný sklon 45° .



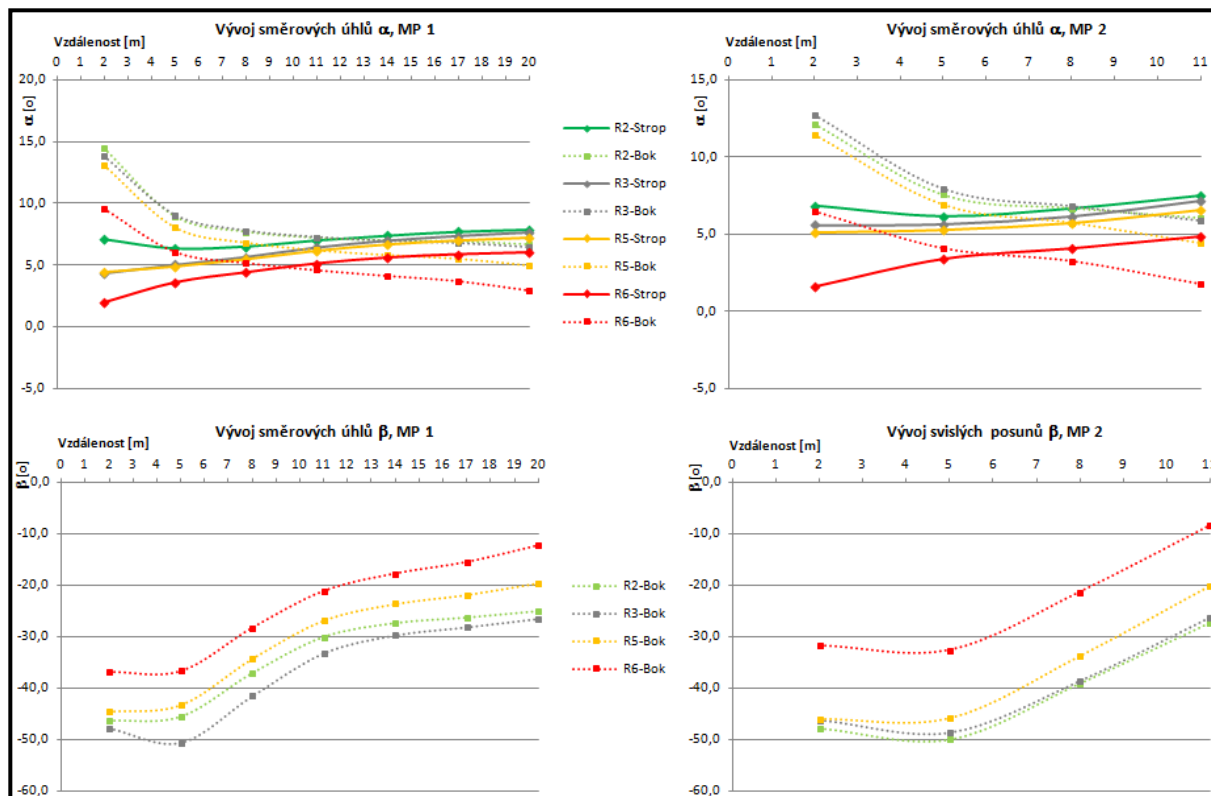
Obr. č. 12: Schéma modelu 4

Průběhy posunů mají obdobný charakter, jako u modelu 3, ale velikosti pro různá prostředí v předpolí mají velmi malé rozdíly, až na svislé posuny pro prostředí s nehomogenitou tvořenou materiálem R6. U této křivky je přece jen odlišnost krapet výraznější.



Graf č. 21: Srovnání vývoje posunů Uy a Uz – model 4

Stejně jako u posunů je to i se směrovými úhly. Pro vývoj směrových úhlů α ve stropě díla platí totéž jako u opačného sklonu nehomogenity. Rozsah hodnot je však o dosti menší.



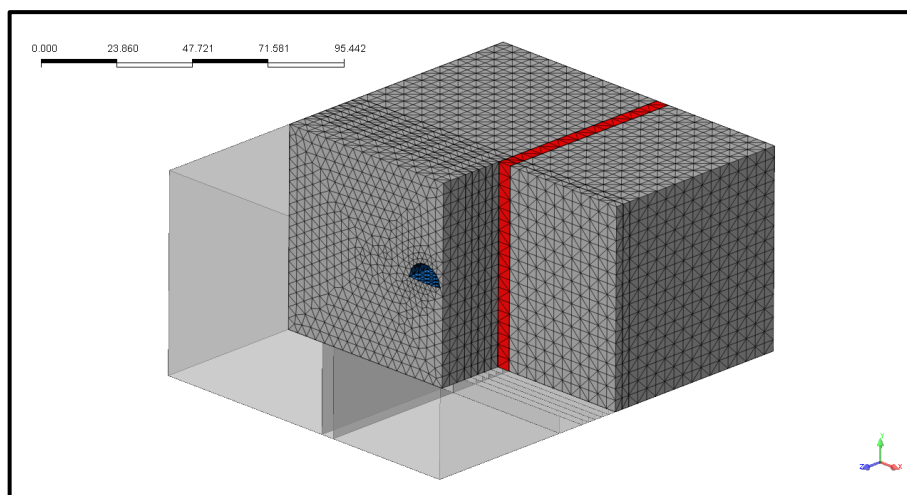
Graf č. 22: Srovnání vývoje směrových úhlů α a β – model 4

K předchozím závěrům je nutné doplnit, že z modelů simulujících přítomnost nehomogenity, která se nachází v předpolí ražby a která je kolmá k podélné ose, se na prostorovém přetváření výlomu projeví nejvíce nehomogenita se sklonem k patě čelby a nejméně se sklonem opačným.

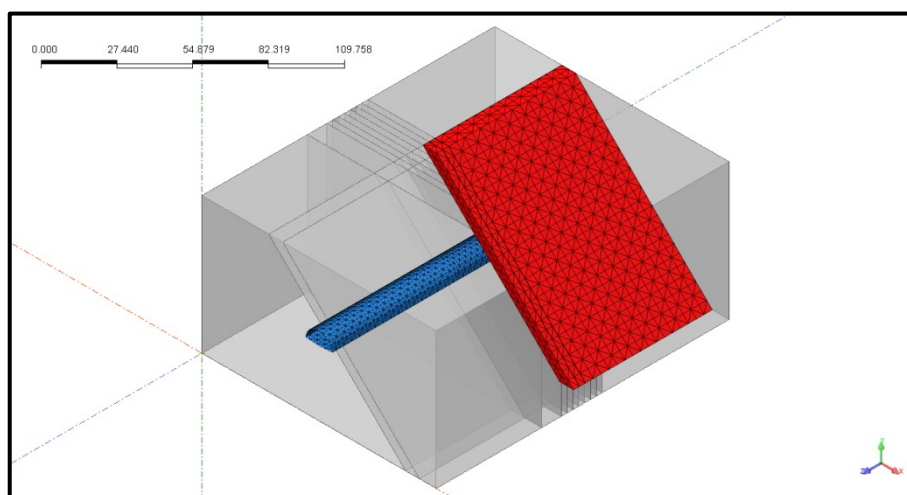
4.3.7 Numerický model 5, 6, 7

Následující tři modely napodobují stav průchodu ražby v blízkosti vrstvy s odlišnými vlastnostmi a sklonem. Ta se nachází v bezprostřední blízkosti výlomu a je rovnoběžná s podélnou osou tunelu. Ražbou tedy nebude nehomogenita zastižena, ale v posledních dvou fázích bude výlom na její úrovni. Na rozdíl od předchozích nejsou modely příčné symetrické, proto jsou sledovány také ve stropě díla nejen svislé a podélné posuny, ale i příčné posuny U_x potažmo směrové úhly γ . V boku díla jsou sledovány posuny bodů na straně přiléhající k nehomogenitě.

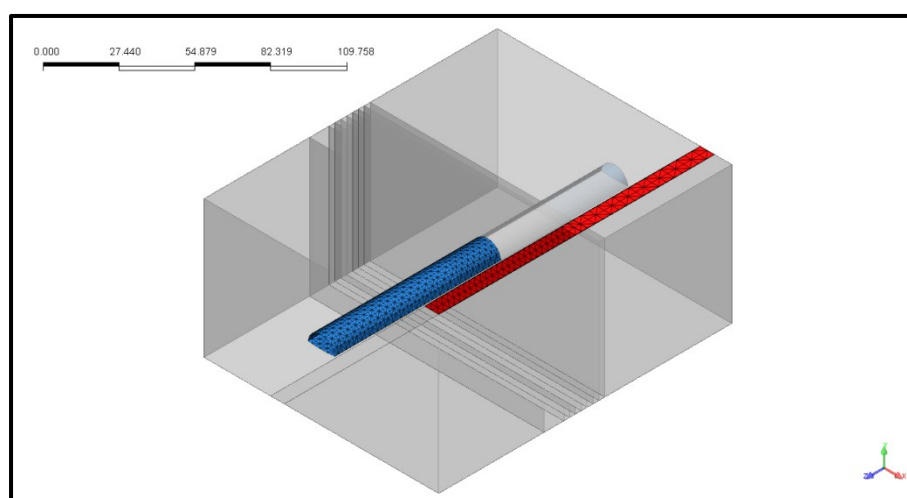
Mocnost vrstvy je opět 5 metrů. Jejich sklon je patrný z obr. č. 13 – 15.



Obr. č. 13: Axonometrický pohled na schéma modelu 5

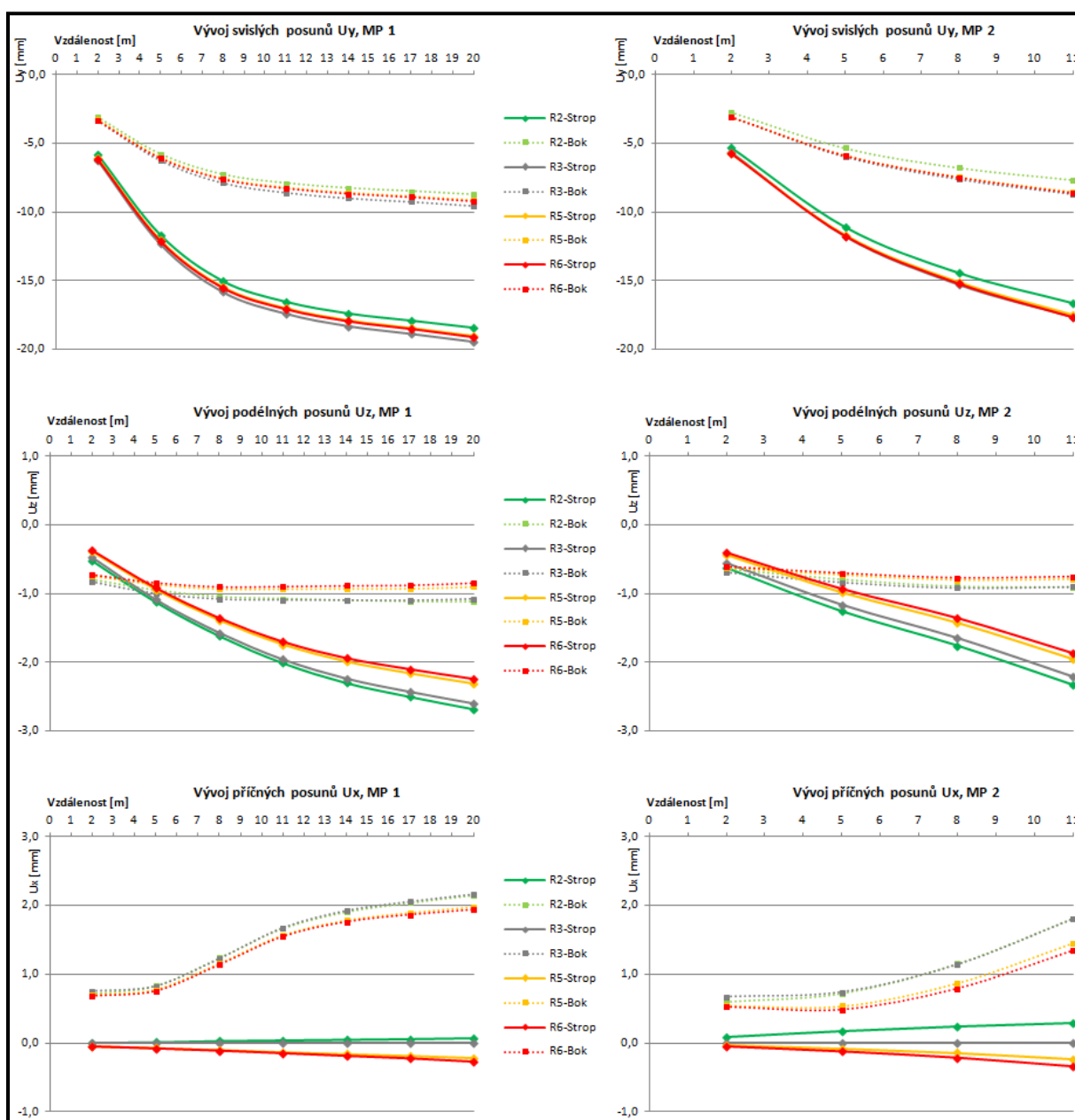


Obr. č. 14: Axonometrický pohled na schéma modelu 6



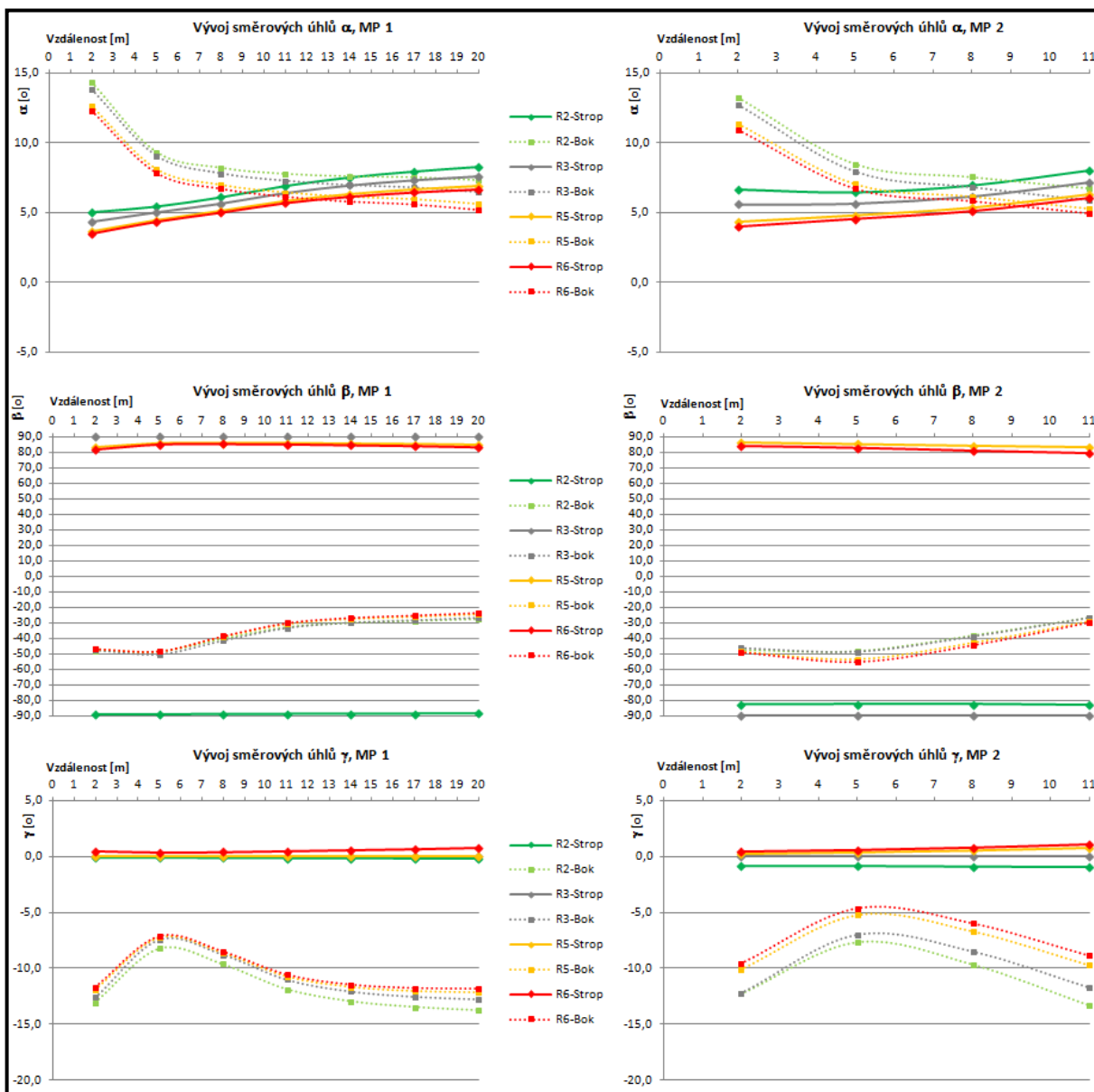
Obr. č. 15: Axonometrický pohled na schéma modelu 7

Z výstupů posunů v modelu 5 vyplývá, že svislá nehomogenita s různými materiálovými vlastnostmi se z globálního hlediska ve svislých posunech nijak zvláště neprojeví. U podélných posunů je náznak odlišností ve vývoji větší, zvláště rozdíl mezi prostředím homogenním a s nehomogenitou R2 vůči prostředím s nehomogenitami R5 nebo R6. U příčných je to podobné. Důležitý je navíc u nich směr, kdy posuny U_x ve stropě mají pro R5 a R6 vývoj od nehomogenity, která více „tlačí“ na výlom než R6 nebo homogenní prostředí. Pravdou ale je, že velikosti jsou v malých absolutních velikostech. Přesto je jisté, že v případě horších materiálových vlastností buďto průvodního prostředí nebo nehomogenity by byly rozdíly znatelnější. To platí pro předchozí i následující modely.



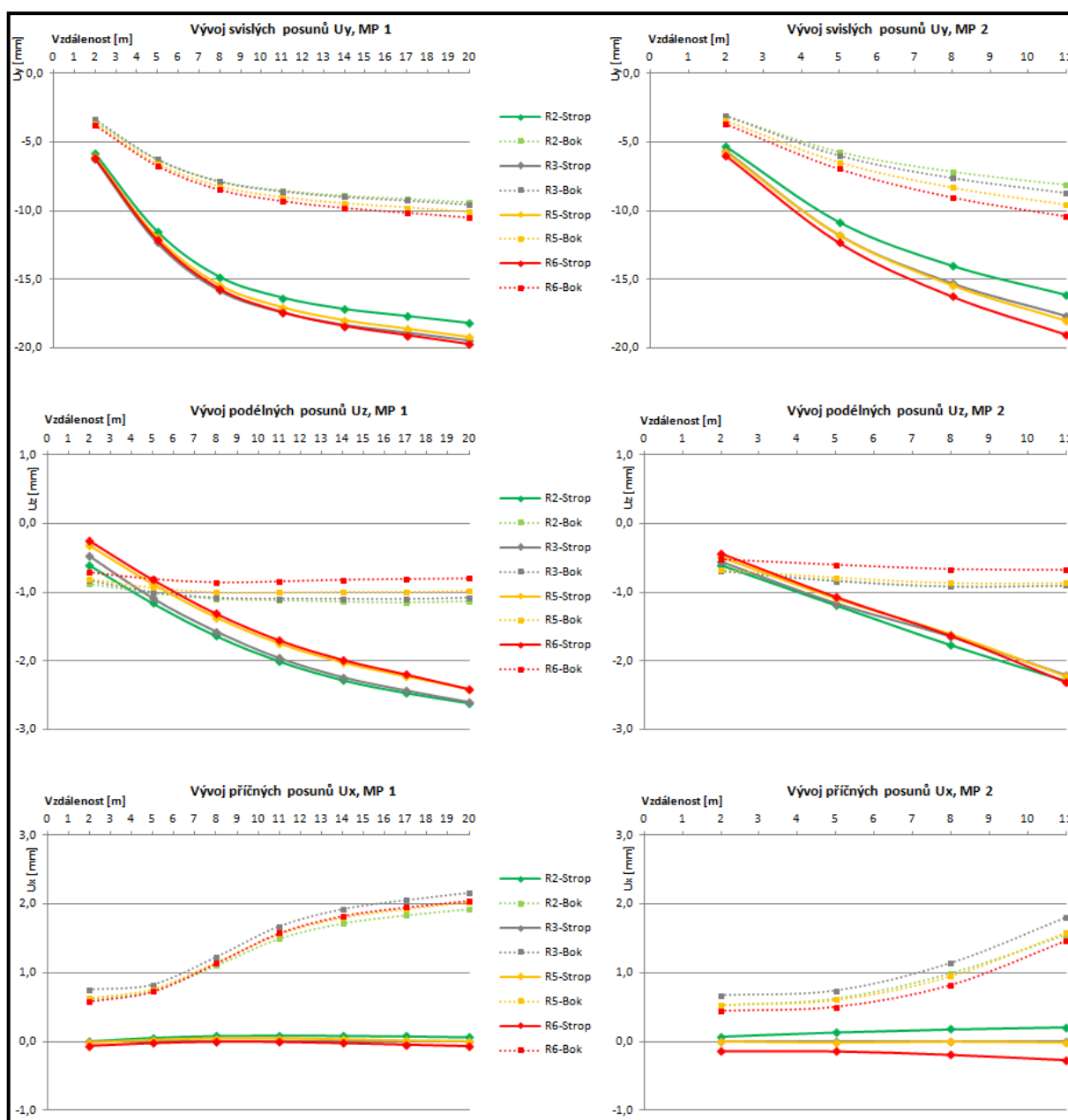
Graf č. 23: Srovnání vývoje posunů U_y , U_z a U_x – model 5

Ani vývoje směrových úhlů α nejsou moc průkazné, snad jen v boku díla naznačují určitou diferenci. Úhly β pro materiálově různé nehomogenity zaujmou zase pouze svým rozsahem, který je dán rozdílným nárůstem hodnoty posunů U_x kolem nulové hodnoty. Vývoj úhlů γ reaguje na nehomogenitu až v měřickém profilu MP1, který se nachází 9 m od ní. O velikosti směrových úhlů platí ale totéž, co bylo řečeno o posunech v minulém odstavci.



Graf č. 24: Srovnání vývoje směrových úhlů α , β a γ – model 5

Nehomogenita v modelu 6 ovlivňuje především svislé posuny U_y , které mají pochopitelně velikost závislou na materiálu, který výlom „zastřešuje“. Čím je materiál kvalitativně horší, tím více výlom zatěžuje, a tím více se výlom deformuje do volného prostoru.

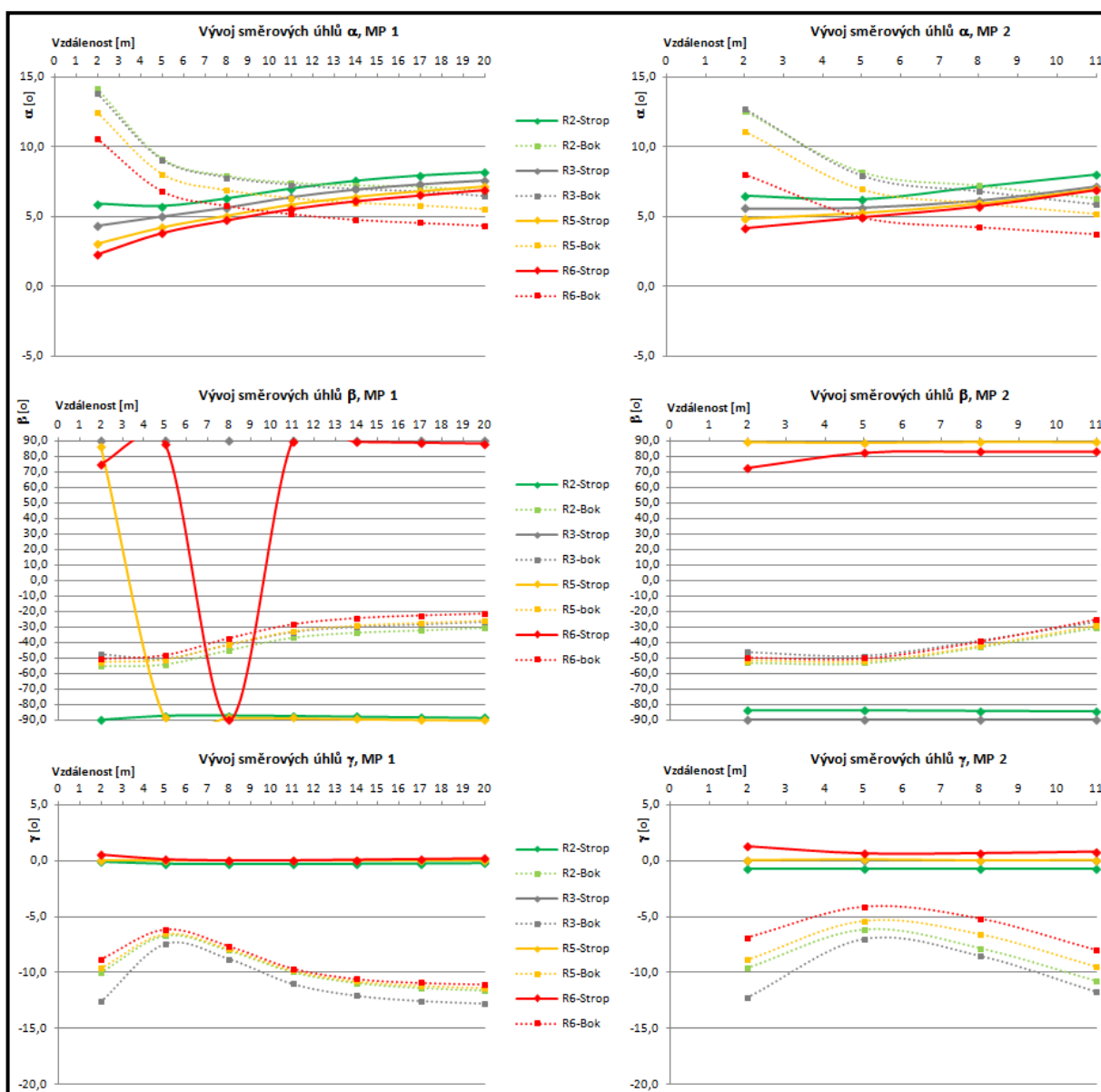


Graf č. 25: Srovnání vývojů posunů U_y , U_z a U_x – model 6

Rozdíly vývojů směrových úhlů v modelu 5 a 6 jsou nejpatrnější u nehomogenity R6, kterou tvoří nejodlišnější materiál od obklopujícího prostředí. Konkrétně úhel α vychází v modelu 6 nižší, zvláště v boku díla. Vývoj úhlu α je pak v boku díla rychlejší do výlomu a ve stropě rychlejší k čelbě než v modelu 5. Ve srovnání s modely 2-4 jsou však tyto velikosti mnohem menší a méně závislé na materiálu nehomogenity.

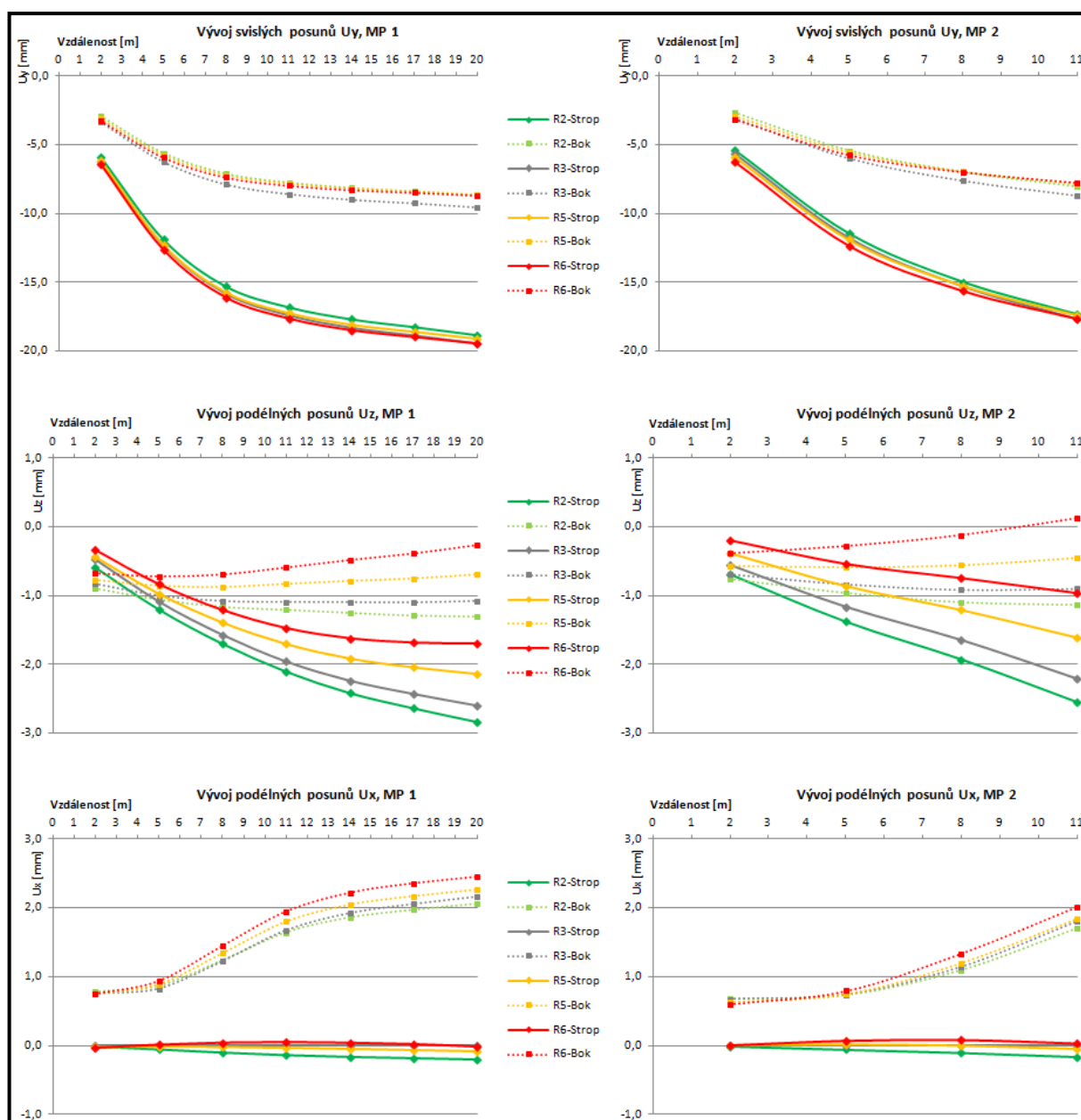
Úhel β má ve stropě díla pro R5 a R6 v MP 1 nekonzistentní vývoj. Důvodem je změna směru posunů U_x , která znamená změnu kvadrantu ve specifikované konvenci a ukazuje na pozdější vliv nehomogenit na vývoj posunů U_x . V boku díla mají úhly β větší rozsah než u modelu 5,

ale stejný průběh. Obdobný průběh, ale naopak menší rozsah mají velikosti úhlů γ , což je způsobeno nižšími příčnými posuny, kdy sklon nehomogenity více rozkládá zatížení v měřických bodech do směru svislých posunů.



Graf č. 26: Srovnání vývoje směrových úhlů α , β a γ – model 6

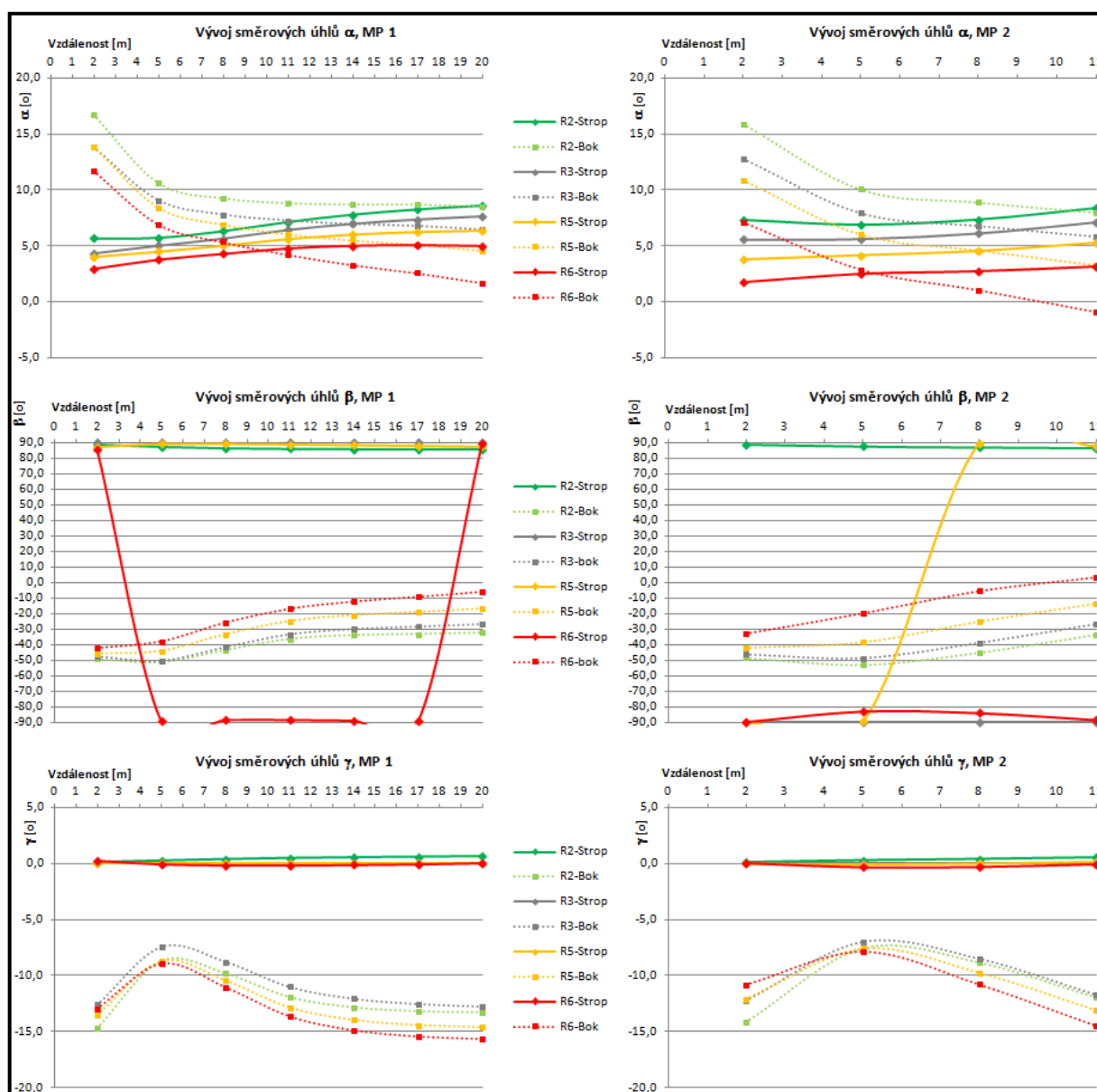
V modelu 7, ve kterém nehomogenita probíhá pod výlomem a má sklon 45%, je nejodlišnější od předchozích dvou modelů velikost a vývoj posunů U_z . Ostatní posuny na změnu charakteru prostředí pod výlomem skoro nereagují. Je tedy zřejmé, že v tomto konkrétním případě se ukazuje důležitost, a pokud ne důležitost, tak praktičnost sledovat a vyhodnocovat i podélné posuny.



Graf č. 27: Srovnání vývoje posunů U_y , U_z a U_x – model 7

Směrové úhly α a β z modelu 7 mají větší rozsah v závislosti na materiálu nehomogenity než u modelů 5 a 6. Zvláště v boku díla a v měřickém profilu 2. Důvodem je samozřejmě vyšší rozsah velikostí podélných posunů. Rozdíl je ale i v úhlech γ , které na podélných posunech nezávisí, ale v kombinaci svislých a příčných posunů se odlišnost prostředí více projeví.

Pro ucelení představy nesymetrického vývoje podélných posunů ostění způsobeného nehomogenitami situovaných podél tunelu jsou v přílohách 11, 13 a 15 vykresleny jejich velikosti. Vykreslena je vždy levá a pak pravá strana ostění pro fázi, kdy už ražba dorazila na úroveň nehomogenity.

Graf č. 28: Srovnání vývojů směrových úhlů α , β a γ – model 7

5 ZÁVĚRY A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce řešila problematiku prostorového vývoje posunů výlomu tunelu v závislosti na změně napjatosti v horninovém masivu. Kladen byl důraz především na podélné posuny, jejichž vývoj je v současné geotechnické praxi neprávem podceňován a přehlížen. Z posunů byly stanovovány směrové úhly, které svírají výslednice posunů v hlavních rovinách tunelu s hlavními směry posunů v příslušném kvadrantu. Ty mohou lépe odrážet odlišnost předpokladů od anomálií.

DP obsahuje dvě stěžejní části. První se zabývá praktickým vyhodnocováním naměřených posunů na konkrétních tunelech. Ve druhé byla provedena matematická analýza vlivu nehomogenit na prostorový vývoj posunů ostění tunelu. Výstupy jsou prezentovány z pohledu změny charakteru kvality obklopujícího prostředí. Autor si je ale vědom, že kromě kvalitativních vlastností ovlivňují velikosti a vývoje posunů také možnosti měřicí techniky a samotného způsobu měření, hydrogeologické poměry v masivu, způsob ražby, geometrie výlomu a způsob zajištění výlomu, atd., což vnáší do závěrů značnou míru neurčitosti...

Z praktického vyhodnocování posunů a směrových úhlů na Jablůnkovském tunelu vyplynulo následující: Z pohledu komplexního sledování chování výlomu tunelu není žádoucí opomínat důležitost vývoje posunů ve směru podélné osy. Nabývají sice mnohem menších hodnot oproti standardně sledovaným svislým posunům, zároveň však citlivěji reagují na změnu rozložení napjatosti v okolí tunelu. V konkrétním případě bylo vidět, že i když se zdál být vývoj svislých posunů ukončen, u podélných posunů tomu tak nebylo.

Stejně tak vývoj směrových úhlů neměl ideální charakter a mohl napovídat něco o neustálém „živém“ chování výlomu. V ideálním případě by totiž měly mít směrové úhly po počátečním uklidnění průběh bez výrazných přírůstků a skokových změn.

Z vyhodnocování posunů a z nich stanovených směrových úhlů na tunelu Klimkovice vyplynulo, že směrové úhly α , jejichž vývoj byl analyzován v závislosti vzdálenosti čelby od měřického profilu, vykazují ve stropu tunelu s ohledem na geologii okolního prostředí tři základní tendenční chování: V případě, že se čelba raženého tunelu nachází v blízkosti prostředí s horšími kvalitativními vlastnostmi, má úhel α tendenci se k tomuto prostředí „stáčet“ a vektor posunů směřuje do tohoto prostředí. Opačně je tomu v případě přítomnosti vrstev hornin s lepšími pevnostními vlastnostmi. V případě relativně homogenního prostředí

byl vývoj směrových úhlů poměrně stálý, s malým kolísáním přírůstků v rozsahu maximálně cca 20°.

U posunů ve směru osy díla tento závěr jednoznačně konstatovat nelze, u směrových úhlů je tento problém eliminován závislostí parametru na dvou směrech posunů. Velikost posunů u_z je však základním indikátorem možných změn v geologii předpolí tunelu.

Z výsledků bylo také možné konstatovat, že progresivnější vývoj směrového úhlu α se dal očekávat do vzdálenosti cca 25 m od čelby, což odpovídá něco kolem 2 - 3 násobku šířky, v té době ražené, kaloty.

V druhé stěžejní části byly vytvořeny tři skupiny modelů v programovém systému MIDAS GTS 3D. V první byl analyzován prostorový vývoj posunů v homogenních horninových prostředích. Ve druhé byl modelován stav přibližování se k nehomogenitě, která se nachází před čelbou a výlom jí bude procházet. Třetí skupina simulovala přítomnost nehomogenity, která se ocitne v průběhu ražby vedle výlomu.

Obecně z matematického modelování vyplynulo, že prostorový vývoj posunů a z nich stanovených směrových úhlů závisí na kvalitě průvodní horniny, materiálu, kterým je tvořena nehomogenita, geometrii nehomogenity, jejím sklonu a její pozici vzhledem k výlomu.

Další obecný závěr z parametrických modelů byl, že rozdíly ve vývojích posunů pro jednotlivé modelové simulace nejsou příliš velké. Je to dáno velkou mírou zjednodušení modelu. V reálných podmínkách jsou difference prostředí, hydrogeologické poměry, způsob ražby a vyztužování atd. komplikovanější. Proto i rozdíly ve velikostech a vývojích by byly markantnější. Cílem modelové analýzy ale nebylo stanovovat konkrétní závěry o reálných velikostech trojdimenzionálních posunů, cílem bylo naznačit, jak se budou posuny v měřických profilech vyvíjet, když okolí výlomu bude materiálově kvalitnější, resp. horší než průvodní homogenní prostředí.

Shodný obecný závěr pro modely také je, že posuny ve stropě díla reagují na postup ražby a změnu v napjatosti do vzdálenosti cca 20 – 35 metrů od čelby.

Z matematických modelů ražby tunelu v homogenních prostředích vyplynulo, že u podélných posunů měřických bodů nacházejících se ve stropě, je vývojová tendence směrem k čelbě. Jejich velikost se se vzdalováním čelby od měřických profilů zvyšuje. Čím je prostředí kvalitativně horší, tím vyšší podélné posuny jsou. Avšak směrový úhel α má v prostředí kvalitnějším jak ve stropě, tak v boku výlomu vývojovou tendenci směrem do výrubu, u horších má vývojovou tendenci opačnou, tj. do čelby.

U skupiny modelů s přítomností nehomogenity před čelbou, kterou ražba bude procházet, vycházely u podélných posunů U_z větší rozdíly i samotný rozsah velikostí než u modelů bez nehomogenity. Velikosti a průběhy svislých posunů jsou naproti tomu obdobné.

Větší rozsah v závislosti na kvalitě předpolí vykazovaly také směrové úhly. Opět platilo, že směrové úhly α pro body ve stropě mají tendenci více se stáčet do kvalitativně horšího prostředí.

Důležitým výsledkem také bylo, že z modelů simulujících přítomnost nehomogenity, která se nachází v předpolí ražby, se na prostorovém přetváření výlomu, stejně jako na směrových úhlech, nejvíce projeví nehomogenita se sklonem k patě čelby a nejméně se sklonem opačným.

Nejmenší vliv na podélné posuny a směrové úhly α měla nehomogenita nacházející se vedle tunelu. V této třetí skupině modelů bylo ale zase dobře vidět, že je praktické sledovat nejen svislé a podélné posuny, ale i příčné posuny, a z jejich velikostí stanovené směrové úhly β a γ , protože čím větší byla vývojová tendence úhlů do výlomu, tím kvalitativně horší materiál se v blízkosti tunelu nacházel.

Závěrem je dobré dodat, že z velikostí posunů, obzvláště podélných a příčných, je někdy díky malým absolutním hodnotám těžké stanovit rychle a operativně závěry o charakteru prostředí. Z vývoje směrových úhlů je to ale jednodušší, protože jejich velikost je závislá na prostorové změně polohy měřického bodu a ne pouze na jedné hodnotě posunu v daném směru. To ale vyplývalo i z praktického vyhodnocování dat z tunelu Klimkovice.

A přínos? Přínos disertační práce spočívá v popisu vývoje podélných posunů v závislosti na charakteru kvality prostředí obklopujícího výlom tunelu a v definici směrových úhlů jako alternativního způsobu vyhodnocování posunů.

LITERATURA

- [1] ALDORF, J. 1999. *Mechanika podzemních konstrukcí*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 1999. 410 s., ISBN 80-7078-695-7.
- [2] ALDORF, J., BRADÁČ, J., CHROMEČKA, M., STEHLÍK, E., VOJTASÍK, K. 1992. *Podzemní stavby a zakládání staveb*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1992. 116 s., ISBN 80-7078-163-7.
- [3] BRDIČKA, M., SAMEK, L., SOPKO, B. 2005. *Mechanika kontinua*. Praha : Academia, 2005. 799 s., ISBN 80-200-1344-X.
- [4] ČSN 73 1001. *Zakládání staveb: Základová půda pod plošnými základy*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1987. 80 s.
- [5] ČSN EN ISO 14688-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemín - Část 1: Pojmenování a popis*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 16 s.
- [6] KLEPSATEL, F., KUSÝ, P., MAŘÍK, L. 2003. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Bratislava : Jaga group, v.o.s., 2003. 210 s., ISBN 80-88905-43-5.
- [7] LUŇÁČKOVÁ, B. 2007. *Výpočtové modely pro dynamickou odezvu geotechnických konstrukcí : Disertační práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, 2007. 93s.
- [8] MAREK, R. 2005. *Vliv nehomogenit a anizotropie horninového masívu na kvantitativní a kvalitativní obraz přetváření výlomu tunelu : Diplomová práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, 2005. 89 s.
- [9] MAREK, R., ALDORF, J. 2010. Ways of application of convergence measurements for prediction of geotechnical conditions for excavation of tunnels. In *Transport and City Tunnels - Underground construction Prague 2010*. Prague : Czech Tunelling Association ITA/AITES, 2010. s. 638-642. ISBN 978-80-254-7054-1.
- [10] PRUŠKA, J. 2002. *GEOMECHANIKA Mechanika hornin*. Praha : ČVUT, Fakulta stavební, 2002. 180 s., ISBN 80-01-02456-3.
- [11] REKTORYS, K. 1999. *Variační metody*. Praha : Prométheus, 1999. 602 s., ISBN 80-200-0714-8.
- [12] SCHUBERT, W., GROSSAUER, K. 2009. Development of Expert System for the Interpretation of Monitoring Data. In *ITA-AITES World tunnel congress*. 23.5.-28.5.2009. Budapest : ITA/AITES, 2009. 8 s. (Abstrakt 219-220). ISBN 978 963 06 7239 9.

- [13] SCHUBERT, W., STEINDORFER, A. 1996. Selective Displacement Monitoring during Tunnel Excavation. *Felsbau* 14, 1996, No.2. Essen : VGE, s. 93-98. ISSN 0174-6979.
- [14] ŠVEC, M., HÁNEK, P. 1999. *Stavební geodezie 10*. Praha : ČVUT, Fakulta stavební, 1999. 176 s., ISBN 80-01-02076-2.
- [15] TURČEK, P., HULLA, J. 2004. *Zakladanie stavieb*. Bratislava : Jaga group, v.o.s., 2004. 360 s., ISBN 80-88905-43-5.
- [16] 3D Finite Element Analysisi for Geotechnical & Tunnel Analysis. *MidasGTS Training Course: 24-25 April, 2008, Prague*. European Institute of IT Education, EIITE, 2008.

INTERNETOVÉ ZDROJE

<http://www.leica-geosystems.com>

- stránky firmy Leica Geosystems. Informace o totálních stanicích a laserových skenerech (En/De)

<http://www.riegl.com>

- stránky výrobce laserových skenerů Riedl (En)

<http://www.mensi.com>

- stránky výrobce laserových skenerů Mensi (En/Jap)

<http://fast10.vsb.cz/hrubesova/>

- výukové texty Doc. RNDr. Evy Hrubéšové, Ph.D. (Čj)

www.barab.eu

- informační (databázový) systém BARAB[®] vyvinutý společností ARCADIS Geotechnika a.s. (En/Čj)

http://www.amberg.cz/download/clanky/tunel_klimkovice_jp.pdf

- základní údaje o tunelu Klimkovice (Čj)

http://www.ita-aite.cz/files/Seminare/2010_03_TD/Aldorf-Duris-Havarie_Jablunkov.pdf

- základní údaje o Tunelu Jablunkov a jeho haváriích (ČJ)

<http://en.midasuser.com/>

- web výrobce a distributora výpočetního systému MIDAS GTS-3D (En)

VYBRANÁ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

1. MAREK, Roman. Analýza vlivu ochranného deštníku z TI na výrub překopu 3406, důl Mír, Mikulčice. In *Juniorstav 2009 – 11. Odborná konference doktorského studia [CD-ROM]* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2009. s. 1-4. ISSN-ISBN 978-80-214-3810-1.
2. MAREK, Roman. Analýza vývoje posunů ostění tunelu k predikci kvality prostředí. In *Juniorstav 2010 – 12. Odborná konference doktorského studia [CD-ROM]* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2010. s. 1-6. ISBN 978-80-214-4042-5.
3. MAREK, Roman. Predikce kvality prostředí v okolí tunelu z vývoje posunů měřičských bodů. In *Geotechnika 2006 Geotechnics, konštrukcie, technológie a monitorin, zborník 11. medzinárodnej konferencie*, vyd. Stupava (Slovakia) : ORGWARE, 2006. s. 59-64. ISBN 80-248-1124-3.
4. MAREK, Roman. Sledování konvergencí ostění překopů 3406 a 3405 na Dole Mír, Mikulčice. In *Geotechnický monitoring - Zborník 9. Medzinárodnej geotechnickej konferencie* Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2009. s. 298-302. ISBN 978-80-227-3057-0.
5. MAREK, Roman. Tyčové vs. lanové kotvy – rozsah použití a jejich omezení. In *Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2012 - sborník příspěvků 17. mezinárodního semináře* Ostrava : FAST VŠB – TUO a Minova Bohemia s.r.o., 2012. s. 152-157. ISBN 978-80-248-2548-9.
6. MAREK, Roman. Vliv nehomogenit na přetváření podzemních konstrukcí. In *Juniorstav 2006 – 8. Odborná konference doktorského studia [CD-ROM]* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006. s. 1-7. ISBN 80-214-3110-5.
7. MAREK, Roman; ALDORF, Josef. Monitoring a posouzení dočasného statického zajištění překopu 3406 na dole Mír - Mikulčice. In *Geotechnika 2008 Geotechnics, konštrukcie, technológie a monitoring - zborník 12. medzinárodnej konferencie* Stupava (Slovakia) : ORGWARE, 2008. s. 389-394. ISBN 978-80-248-1850-4.
8. MAREK, Roman; ALDORF, Josef. Ways of application of convergence measurements for prediction of geotechnical conditions for excavation of tunnels. In *Transport and City Tunnels - Underground construction Prague 2010*. Prague : Czech Tunelling Association ITA/AITES, 2010. s. 638-642. ISBN 978-80-254-7054-1.

9. MAREK, Roman; HRUBEŠOVÁ, Eva; KOŘÍNEK, Robert. *Vliv dynamických účinků dopravy a vibračních zařízení na seismickou odezvu podzemních a pozemních konstrukcí: výzkumná zpráva za rok 2008 projektu MŠMT IM0579*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008. 18 s.
10. MAREK, Roman; HRUBEŠOVÁ, Eva; KOŘÍNEK, Robert. Vliv dynamických účinků zavibrovávání štětovnice na seismickou odezvu okolní zástavby při realizaci startovací šachty kanalizace v Karviné. In *Geotechnika 2008 Geotechnics, konštrukcie, technológie a monitoring - zborník 12. medzinárodnej konferencie*, vyd. Stupava (Slovakia) : ORGWARE, 2008. s. 93-97. ISBN 978-80-248-1850-4.
11. MAREK, Roman; HRUBEŠOVÁ, Eva; KOŘÍNEK, Robert; STOLÁRIK, Martin. Vliv technické seismicity indukované zavibrováváním štětovnice na okolní zástavbu při realizaci startovací šachty kanalizace v Karviné. *Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, řada stavební*, 2008, roč. 8, č. 1, s. 241-246. ISSN 1213-1962.
12. MAREK, Roman; HRUBEŠOVÁ, Eva; SEDLÁČEK, Milan. Stabilita svahu potoku Výšina v Orlové. *Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, řada stavební*, 2011, roč. 11, č. 1, s. 89-96. ISSN 1213-1962.
13. MAREK, Roman; LUŇÁČKOVÁ, Barbara. Zohlednění dynamických účinků dopravy v návrhu zatížení kolektoru. *Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, řada stavební*, 2007, roč. 7, č. 2, s. 205-211. ISSN 1213-1962.
14. MAREK, Roman; LUŇÁČKOVÁ, Barbara; ALDORF, Josef. Vliv dynamických účinků tramvajové dopravy na ostění kolektoru. *Tunel*, 2008, roč. 17, č. 2, s. 40-43. ISSN: 1211-0728.
15. SEDLÁČEK, Milan; MAREK, Roman. Zajištění stability zemního tělesa v podloží silnice II/469 v obci Děhylov. *Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, řada stavební*, 2011, roč. 11, č. 1, s. 103-108. ISSN 1213-1962.
16. STOLÁRIK, Martin; MAREK, Roman. Dynamická odezva tramvajové dopravy na městský kolektor. *Geotechnika*, 2011, č. 3, s. 26-31. ISSN 1211-913X.

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1:	Vývoj podélných posunů u_z v profilu 10	26
Graf č. 2:	Vývoj svislých posunů u_y v profilu 10	27
Graf č. 3:	Vývoj příčných posunů u_x v profilu 10	27
Graf č. 4:	Vývoj směrového úhlu α v profilu 10	28
Graf č. 5:	Vývoj směrového úhlu γ v profilu 10	28
Graf č. 6:	Vývoj směrového úhlu β v profilu 10	29
Graf č. 7:	Vývoj směrového úhlu α – úsek 1	32
Graf č. 8:	Vývoj podélného posunu u_z – úsek 1	33
Graf č. 9:	Vývoj směrového úhlu α – úsek 2	33
Graf č. 10:	Vývoj podélného posunu u_z – úsek 2	34
Graf č. 11:	Vývoj směrového úhlu α – úsek 3	34
Graf č. 12:	Vývoj podélného posunu u_z – úsek 3	35
Graf č. 13:	Srovnání vývojů směrových úhlů α	35
Graf č. 14:	Srovnání vývojů posunů U_y v různých homogenních prostředích	42
Graf č. 15:	Srovnání vývojů posunů U_z v různých homogenních prostředích	43
Graf č. 16:	Srovnání vývojů sm. úhlů α v různých homogenních prostředích	43
Graf č. 17:	Srovnání vývojů posunů U_y a U_z – model 2	44
Graf č. 18:	Srovnání vývojů směrových úhlů α a β – model 2	45
Graf č. 19:	Srovnání vývojů posunů U_y a U_z – model 3	47
Graf č. 20:	Srovnání vývojů směrových úhlů α a β – model 3	47
Graf č. 21:	Srovnání vývojů posunů U_y a U_z – model 4	48
Graf č. 22:	Srovnání vývojů směrových úhlů α a β – model 4	49
Graf č. 23:	Srovnání vývojů posunů U_y , U_z a U_x – model 5	51
Graf č. 24:	Srovnání vývojů směrových úhlů α , β a γ – model 5	52
Graf č. 25:	Srovnání vývojů posunů U_y , U_z a U_x – model 6	53
Graf č. 26:	Srovnání vývojů směrových úhlů α , β a γ – model 6	54
Graf č. 27:	Srovnání vývojů posunů U_y , U_z a U_x – model 7	55
Graf č. 28:	Srovnání vývojů směrových úhlů α , β a γ – model 7	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

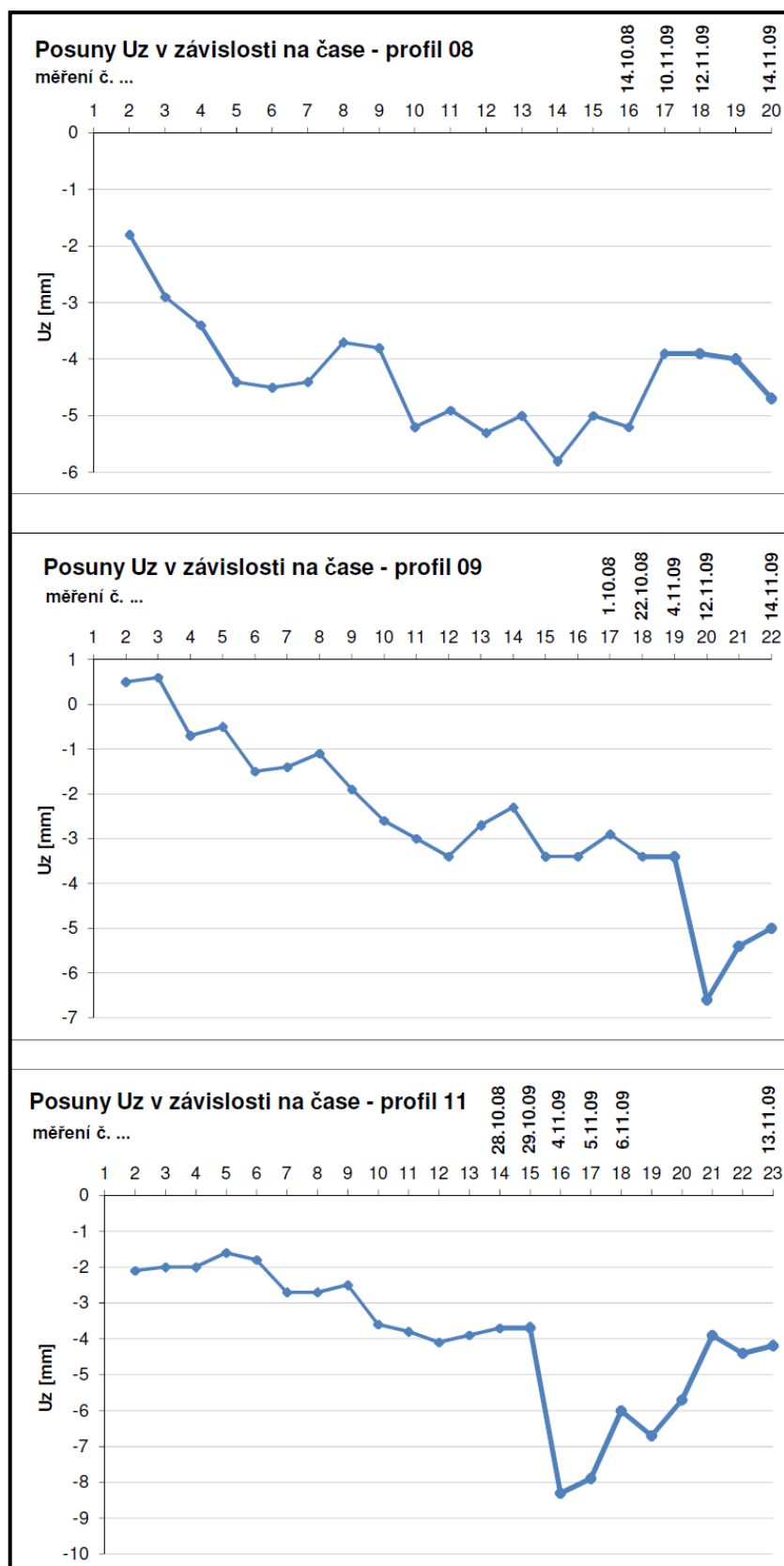
Obr. č. 1:	Znázornění spolupráce horniny s výztuží.....	14
Obr. č. 2:	Časová závislost vývoje posunů z pohledu varovných stavů.....	15
Obr. č. 3:	Orientace posunů a směrových úhlů.....	16
Obr. č. 4:	Napjatost elementárního hranolu.....	17
Obr. č. 5:	Letecký pohled na kráter po havárii tunelu Jablunkov (zdroj MF DNES).....	24
Obr. č. 6:	Příčný řez tunelem Jablunkov, třída výrubu NRTM 5a.....	25
Obr. č. 7:	Pohled na tunel Klimkovice ve finální fázi výstavby.....	30
Obr. č. 8:	Příčný řez tubusem A tunelu Klimkovice.....	31
Obr. č. 9:	Základní geometrie modelu.....	40
Obr. č. 10:	Axonometrický pohled na schéma modelu 2	44
Obr. č. 11:	Schéma modelu 3	46
Obr. č. 12:	Schéma modelu 4	48
Obr. č. 13:	Axonometrický pohled na schéma modelu 5	50
Obr. č. 14:	Axonometrický pohled na schéma modelu 6	50
Obr. č. 15:	Axonometrický pohled na schéma modelu 7	50

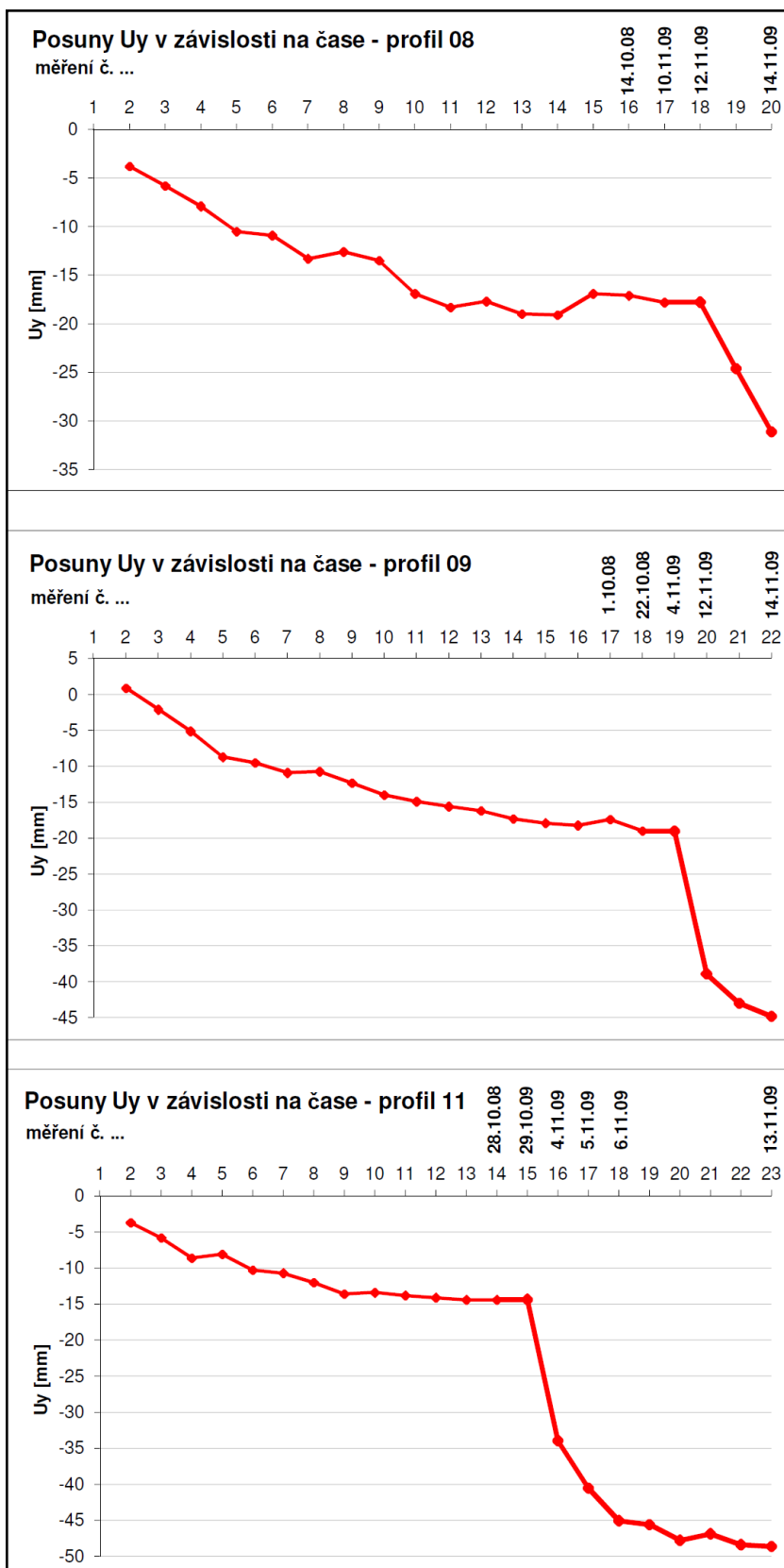
SEZNAM TABULEK

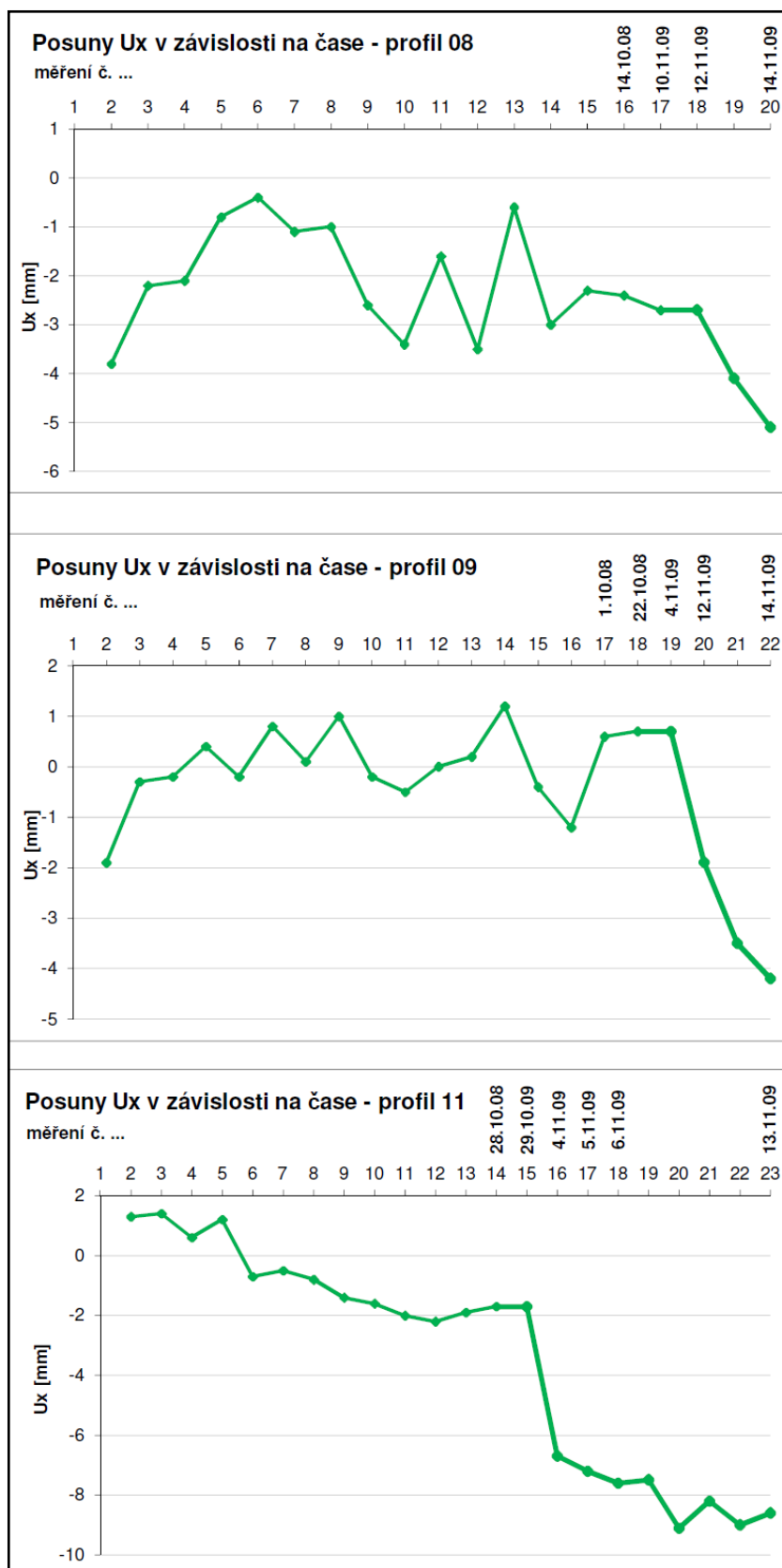
Tab. č. 1:	Materiálové parametry uvažovaných typů hornin	41
-------------------	---	----

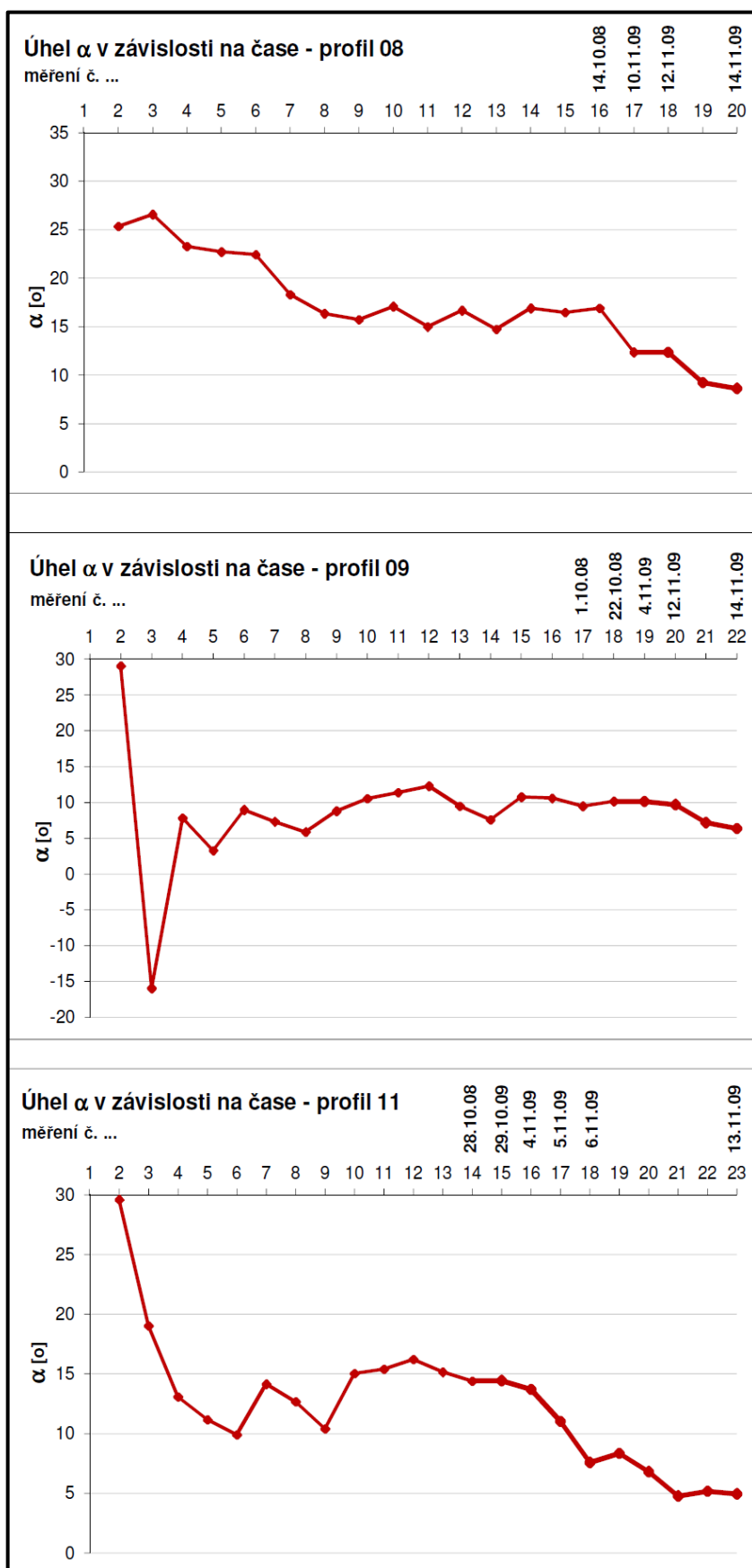
PŘÍLOHY

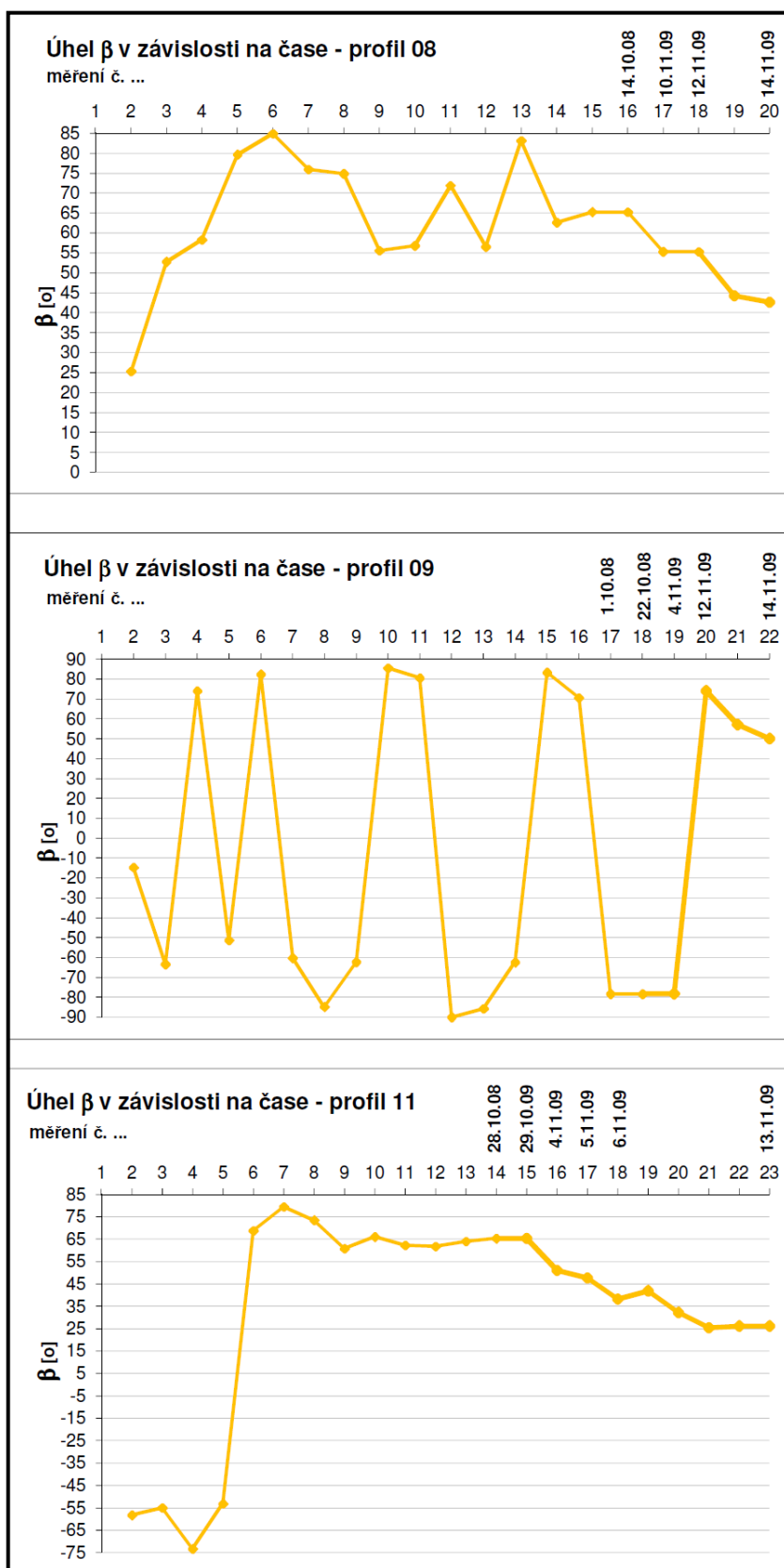
Příloha 1: Výstupy a data k vyhodnocování posunů u tunelu Jablunkov

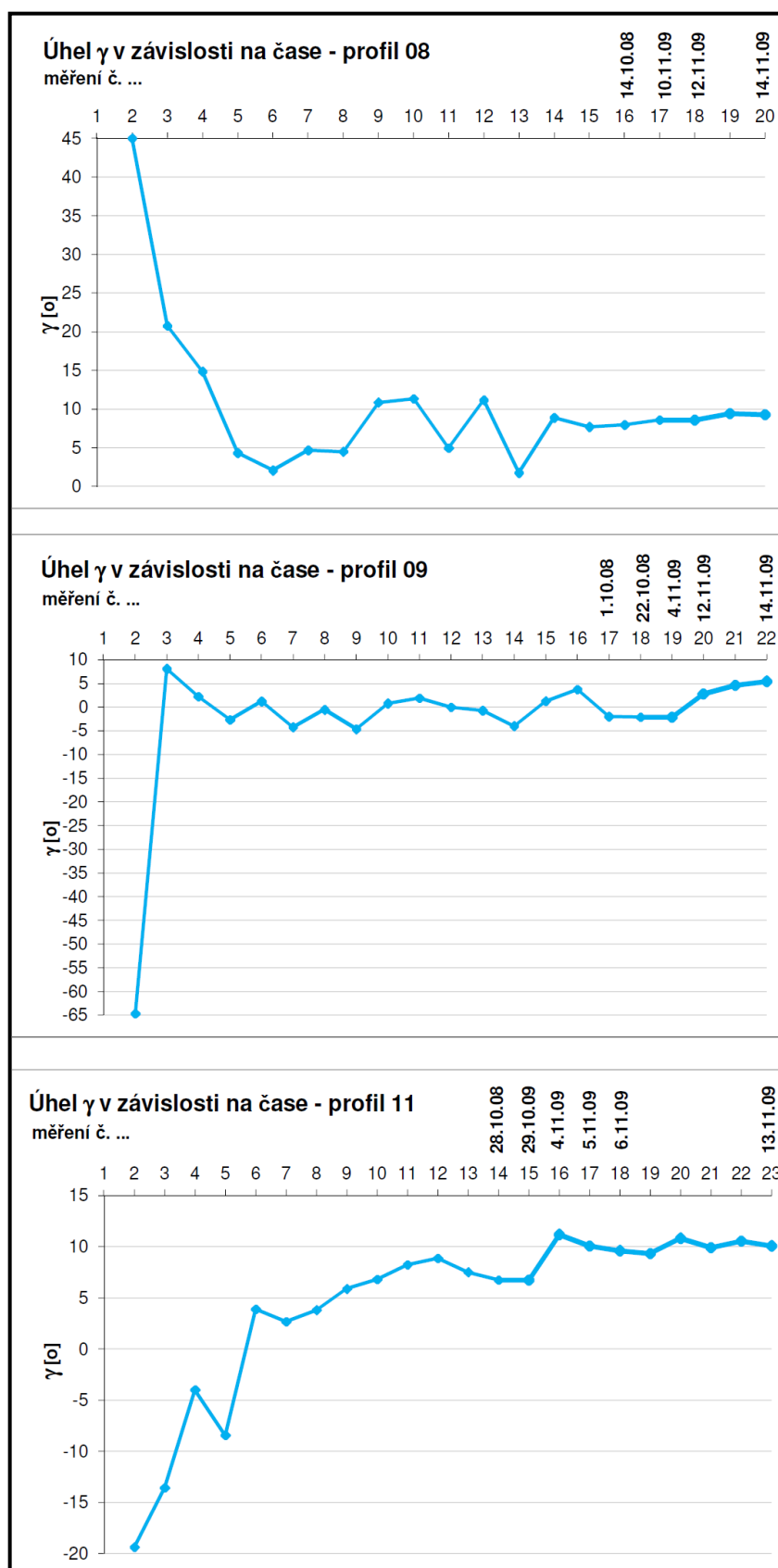








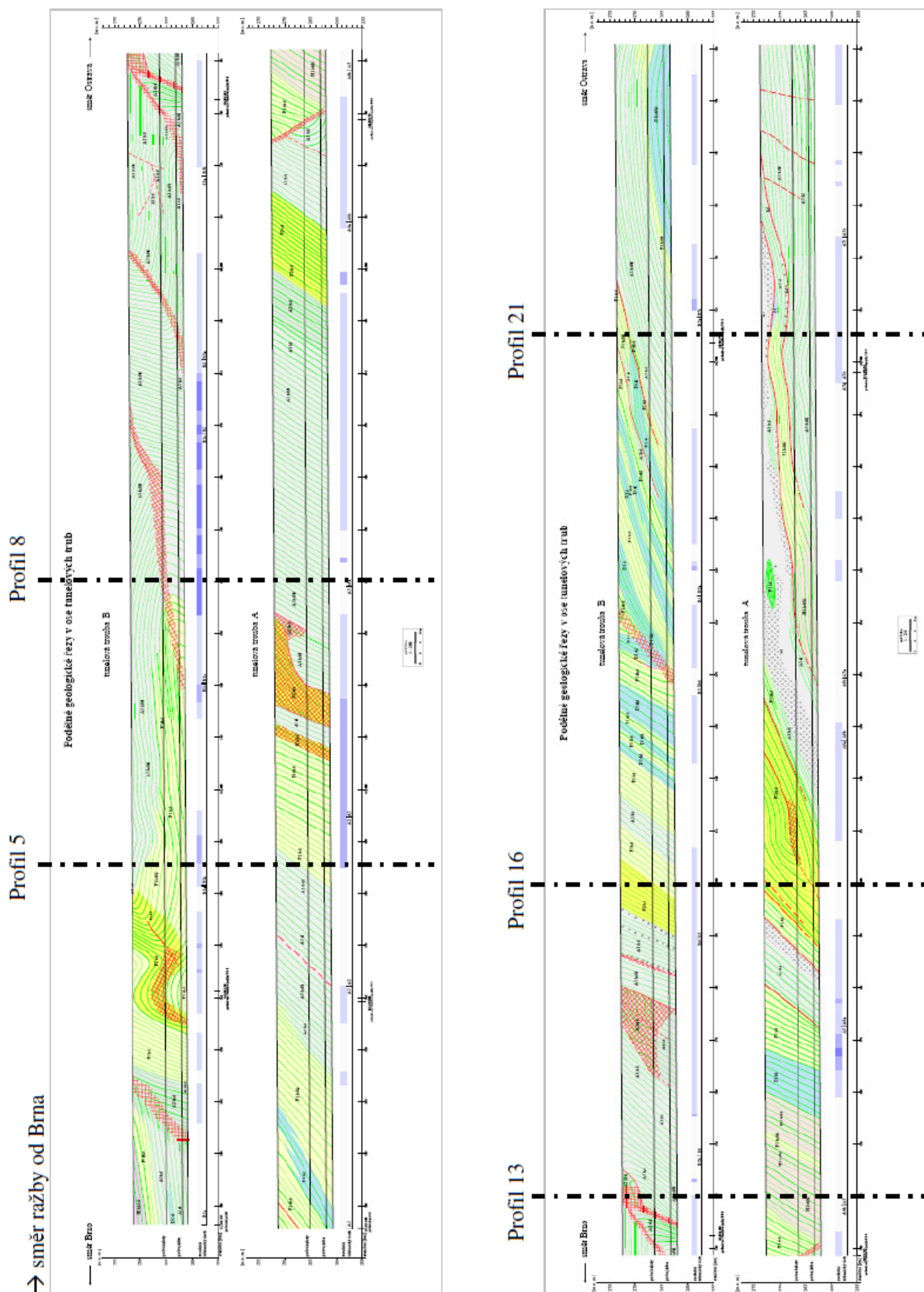




Vzdálenost od protálu [m]	Profil	Souřadnice polohy bodů			Datum	Posuny dle def. konvence			Směrové úhly		
		X	Y	Z		Uz [mm]	Ux [mm]	Uy [mm]	α [°]	β [°]	γ [°]
93,6	08	1140263,6170	439820,5629	527,7428	10.8.2008	0	0	0			
93,6	08	1140263,6146	439820,5663	527,7390	11.8.2008	-1,8	-3,8	-3,8	25,35	25,35	45,00
93,6	08	1140263,6138	439820,5646	527,7370	12.8.2008	-2,9	-2,2	-5,8	26,57	52,82	20,77
93,6	08	1140263,6133	439820,5644	527,7349	13.8.2008	-3,4	-2,1	-7,9	23,29	58,30	14,89
93,6	08	1140263,6125	439820,5629	527,7323	14.8.2008	-4,4	-0,8	-10,5	22,74	79,70	4,36
93,6	08	1140263,6125	439820,5625	527,7319	15.8.2008	-4,5	-0,4	-10,9	22,43	84,92	2,10
93,6	08	1140263,6125	439820,5632	527,7295	16.8.2008	-4,4	-1,1	-13,3	18,31	75,96	4,73
93,6	08	1140263,6132	439820,5633	527,7302	17.8.2008	-3,7	-1	-12,6	16,36	74,88	4,54
93,6	08	1140263,6128	439820,5648	527,7293	18.8.2008	-3,8	-2,6	-13,5	15,72	55,62	10,90
93,6	08	1140263,6113	439820,5654	527,7259	21.8.2008	-5,2	-3,4	-16,9	17,10	56,82	11,38
93,6	08	1140263,6119	439820,5637	527,7245	24.8.2008	-4,9	-1,6	-18,3	14,99	71,92	5,00
93,6	08	1140263,6112	439820,5655	527,7251	27.8.2008	-5,3	-3,5	-17,7	16,67	56,56	11,19
93,6	08	1140263,6120	439820,5627	527,7238	3.9.2008	-5	-0,6	-19	14,74	83,16	1,81
93,6	08	1140263,6108	439820,5649	527,7237	10.9.2008	-5,8	-3	-19,1	16,89	62,65	8,93
93,6	08	1140263,6117	439820,5643	527,7259	23.9.2008	-5	-2,3	-16,9	16,48	65,30	7,75
93,6	08	1140263,6115	439820,5644	527,7257	14.10.2008	-5,2	-2,4	-17,1	16,91	65,22	7,99
93,6	08	1140263,6127	439820,5649	527,7250	10.11.2009	-3,9	-2,7	-17,8	12,36	55,30	8,63
93,6	08	1140263,5910	439820,6467	527,7435	12.11.2009	-3,9	-2,7	-17,8	12,36	55,30	8,63
93,6	08	1140263,5907	439820,6481	527,7367	13.11.2009	-4	-4,1	-24,6	9,24	44,29	9,46
93,6	08	1140263,5898	439820,6489	527,7302	14.11.2009	-4,7	-5,1	-31,1	8,59	42,66	9,31
102,5	09	1140254,5836	439818,5588	527,8107	16.8.2008	0	0	0			
102,5	09	1140254,5838	439818,5608	527,8116	17.8.2008	0,5	-1,9	0,9	29,05	-14,74	-64,65
102,5	09	1140254,5841	439818,5592	527,8086	18.8.2008	0,6	-0,3	-2,1	-15,95	-63,43	8,13
102,5	09	1140254,5829	439818,5589	527,8056	19.8.2008	-0,7	-0,2	-5,1	7,82	74,05	2,25
102,5	09	1140254,5832	439818,5583	527,8020	20.8.2008	-0,5	0,4	-8,7	3,29	-51,34	-2,63
102,5	09	1140254,5821	439818,5587	527,8012	21.8.2008	-1,5	-0,2	-9,5	8,97	82,41	1,21
102,5	09	1140254,5824	439818,5578	527,7998	22.8.2008	-1,4	0,8	-10,9	7,32	-60,26	-4,20
102,5	09	1140254,5825	439818,5585	527,8000	23.8.2008	-1,1	0,1	-10,7	5,87	-84,81	-0,54
102,5	09	1140254,5819	439818,5575	527,7984	24.8.2008	-1,9	1	-12,3	8,78	-62,24	-4,65
102,5	09	1140254,5810	439818,5586	527,7967	26.8.2008	-2,6	-0,2	-14	10,52	85,60	0,82
102,5	09	1140254,5806	439818,5588	527,7958	27.8.2008	-3	-0,5	-14,9	11,38	80,54	1,92
102,5	09	1140254,5803	439818,5582	527,7951	30.8.2008	-3,4	1E-10	-15,6	12,30	-90,00	0,00
102,5	09	1140254,5810	439818,5582	527,7945	2.9.2008	-2,7	0,2	-16,2	9,46	-85,76	-0,71
102,5	09	1140254,5815	439818,5572	527,7934	3.9.2008	-2,3	1,2	-17,3	7,57	-62,45	-3,97
102,5	09	1140254,5802	439818,5586	527,7928	10.9.2008	-3,4	-0,4	-17,9	10,75	83,29	1,28
102,5	09	1140254,5800	439818,5594	527,7925	17.9.2008	-3,4	-1,2	-18,2	10,58	70,56	3,77
102,5	09	1140254,5808	439818,5577	527,7933	1.10.2008	-2,9	0,6	-17,4	9,46	-78,31	-1,97
102,5	09	1140254,5804	439818,5575	527,7917	22.10.2008	-3,4	0,7	-19	10,15	-78,37	-2,11
102,5	09	1140254,5619	439818,6414	527,8226	4.11.2009	-3,4	0,7	-19	10,15	-78,37	-2,11
102,5	09	1140254,5583	439818,6435	527,8027	12.11.2009	-6,6	-1,9	-38,9	9,63	73,94	2,80
102,5	09	1140254,5592	439818,6452	527,7986	13.11.2009	-5,4	-3,5	-43	7,16	57,05	4,65
102,5	09	1140254,5595	439818,6460	527,7968	14.11.2009	-5	-4,2	-44,8	6,37	49,97	5,36
113,3	10	1140243,6030	439816,9621	527,7777	24.8.2008	0	0	0			
113,3	10	1140243,5888	439816,9626	527,7737	26.8.2008	-13,9	-2,9	-4	73,95	78,22	36
113,3	10	1140243,5877	439816,9615	527,7712	27.8.2008	-15,2	-2	-6,5	66,85	82,50	17
113,3	10	1140243,5872	439816,9627	527,7683	28.8.2008	-15,5	-3,3	-9,4	58,77	77,98	19,34
113,3	10	1140243,5872	439816,9627	527,7687	29.8.2008	-15,5	-3,3	-9	59,86	77,98	20,14
113,3	10	1140243,5878	439816,9622	527,7683	30.8.2008	-15	-2,7	-9,4	57,93	79,80	16,03
113,3	10	1140243,5859	439816,9612	527,7658	31.8.2008	-17	-2	-11,9	55,01	83,29	9,54
113,3	10	1140243,5858	439816,9600	527,7668	1.9.2008	-17,3	-0,8	-10,9	57,79	87,35	4,20
113,3	10	1140243,5853	439816,9597	527,7639	2.9.2008	-17,9	-0,6	-13,8	52,37	88,08	2,49
113,3	10	1140243,5863	439816,9584	527,7613	3.9.2008	-17,1	0,8	-16,4	46,20	-87,32	-2,79
113,3	10	1140243,5863	439816,9603	527,7611	5.9.2008	-16,8	-1	-16,6	45,34	86,59	3,45
113,3	10	1140243,5856	439816,9605	527,7604	9.9.2008	-17,4	-1,4	-17,3	45,17	85,40	4,63
113,3	10	1140243,5840	439816,9617	527,7590	17.9.2008	-18,8	-2,8	-18,7	45,15	81,53	8,52
113,3	10	1140243,5831	439816,9594	527,7606	1.10.2008	-20,1	-0,7	-17,1	49,61	88,01	2,34
113,3	10	1140243,5844	439816,9592	527,7576	22.10.2008	-18,8	-0,3	-20,1	43,09	89,09	0,86
113,3	10	1140243,5845	439816,9591	527,7577	23.10.2008	-18,7	-0,2	-20	43,08	89,39	0,57
113,3	10	1140243,5674	439817,0469	527,7871	3.11.2009	-18,7	-0,2	-20	43,08	89,39	0,57
113,3	10	1140243,5628	439817,0477	527,7753	5.11.2009	-23,1	-1,7	-31,8	36,00	85,79	3,06
113,3	10	1140243,5636	439817,0473	527,7679	6.11.2009	-22,4	-1,2	-39,2	29,74	86,93	1,75
113,3	10	1140243,5632	439817,0479	527,7673	7.11.2009	-22,7	-1,9	-39,8	29,70	85,22	2,73

113,3	10	1140243,5624	439817,0466	527,7602	8.11.2009	-23,7	-0,7	-46,9	26,81	88,31	0,86
113,3	10	1140243,5629	439817,0461	527,7594	9.11.2009	-23,3	-0,1	-47,7	26,03	89,75	0,12
113,3	10	1140243,5623	439817,0454	527,7504	10.11.2009	-24	0,5	-56,7	22,94	-88,81	-0,51
113,3	10	1140243,5626	439817,0456	527,7492	12.11.2009	-23,7	0,3	-57,9	22,26	-89,27	-0,30
113,3	10	1140243,5627	439817,0454	527,7491	13.11.2009	-23,6	0,5	-58	22,14	-88,79	-0,49
122,9	11	1140233,8057	439815,2281	527,8918	1.9.2008	0	0	0			
122,9	11	1140233,8038	439815,2265	527,8881	2.9.2008	-2,1	1,3	-3,7	29,58	-58,24	-19,36
122,9	11	1140233,8040	439815,2264	527,8860	3.9.2008	-2	1,4	-5,8	19,03	-55,01	-13,57
122,9	11	1140233,8038	439815,2272	527,8832	4.9.2008	-2	0,6	-8,6	13,09	-73,30	-3,99
122,9	11	1140233,8043	439815,2266	527,8837	5.9.2008	-1,6	1,2	-8,1	11,17	-53,13	-8,43
122,9	11	1140233,8038	439815,2285	527,8815	6.9.2008	-1,8	-0,7	-10,3	9,91	68,75	3,89
122,9	11	1140233,8030	439815,2281	527,8811	7.9.2008	-2,7	-0,5	-10,7	14,16	79,51	2,68
122,9	11	1140233,8029	439815,2284	527,8798	8.9.2008	-2,7	-0,8	-12	12,68	73,50	3,81
122,9	11	1140233,8030	439815,2291	527,8782	10.9.2008	-2,5	-1,4	-13,6	10,42	60,75	5,88
123,0	11	1140233,8019	439815,2291	527,8784	13.9.2008	-3,6	-1,6	-13,4	15,04	66,04	6,81
123,0	11	1140233,8016	439815,2294	527,8780	16.9.2008	-3,8	-2	-13,8	15,40	62,24	8,25
123,0	11	1140233,8013	439815,2296	527,8777	23.9.2008	-4,1	-2,2	-14,1	16,21	61,78	8,87
123,0	11	1140233,8015	439815,2293	527,8774	7.10.2008	-3,9	-1,9	-14,4	15,15	64,03	7,52
123,0	11	1140233,8018	439815,2292	527,8774	28.10.2008	-3,7	-1,7	-14,4	14,41	65,32	6,73
123,0	11	1140233,7832	439815,3109	527,9094	29.10.2009	-3,7	-1,7	-14,4	14,41	65,32	6,73
123,0	11	1140233,7778	439815,3150	527,8898	4.11.2009	-8,3	-6,7	-34	13,72	51,09	11,15
123,0	11	1140233,7781	439815,3156	527,8833	5.11.2009	-7,9	-7,2	-40,5	11,04	47,65	10,08
123,0	11	1140233,7799	439815,3163	527,8787	6.11.2009	-6	-7,6	-45,1	7,58	38,29	9,57
123,0	11	1140233,7792	439815,3161	527,8782	7.11.2009	-6,7	-7,5	-45,6	8,36	41,78	9,34
123,0	11	1140233,7800	439815,3178	527,8760	8.11.2009	-5,7	-9,1	-47,8	6,80	32,06	10,78
123,0	11	1140233,7819	439815,3172	527,8769	9.11.2009	-3,9	-8,2	-46,9	4,75	25,44	9,92
123,0	11	1140233,7813	439815,3179	527,8754	10.11.2009	-4,4	-9	-48,4	5,19	26,05	10,53
123,0	11	1140233,7815	439815,3176	527,8752	13.11.2009	-4,2	-8,6	-48,6	4,94	26,03	10,03

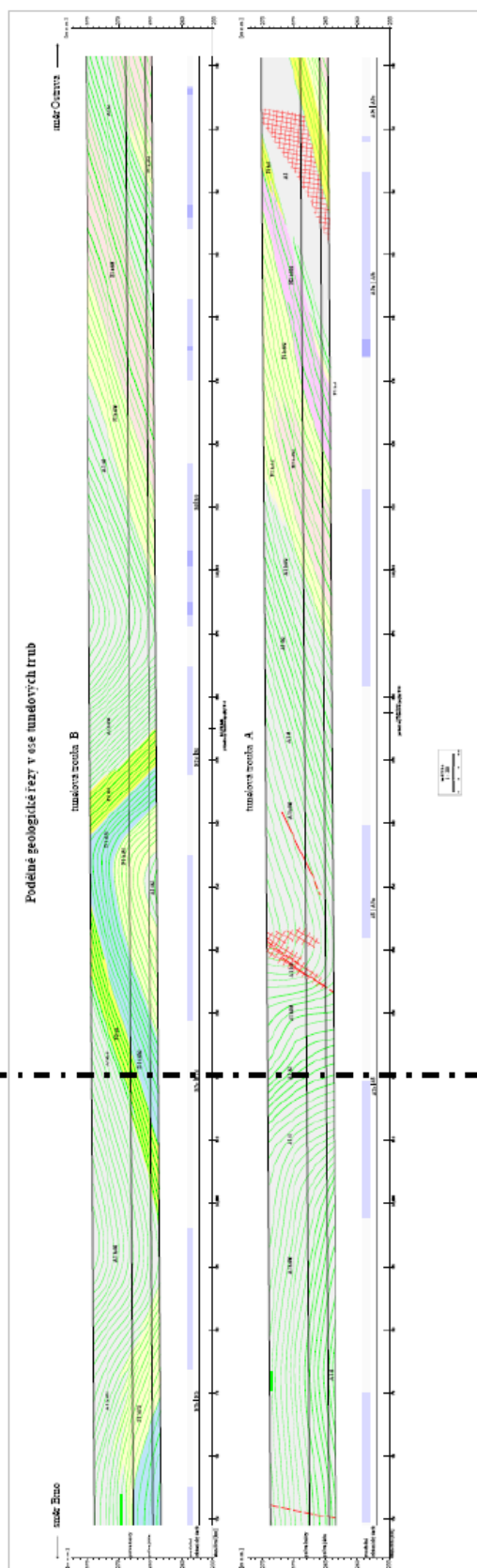
Příloha 2: Data k vyhodnocování posunů u tunelu Klimkovice



→ směr rážby (od Brna)

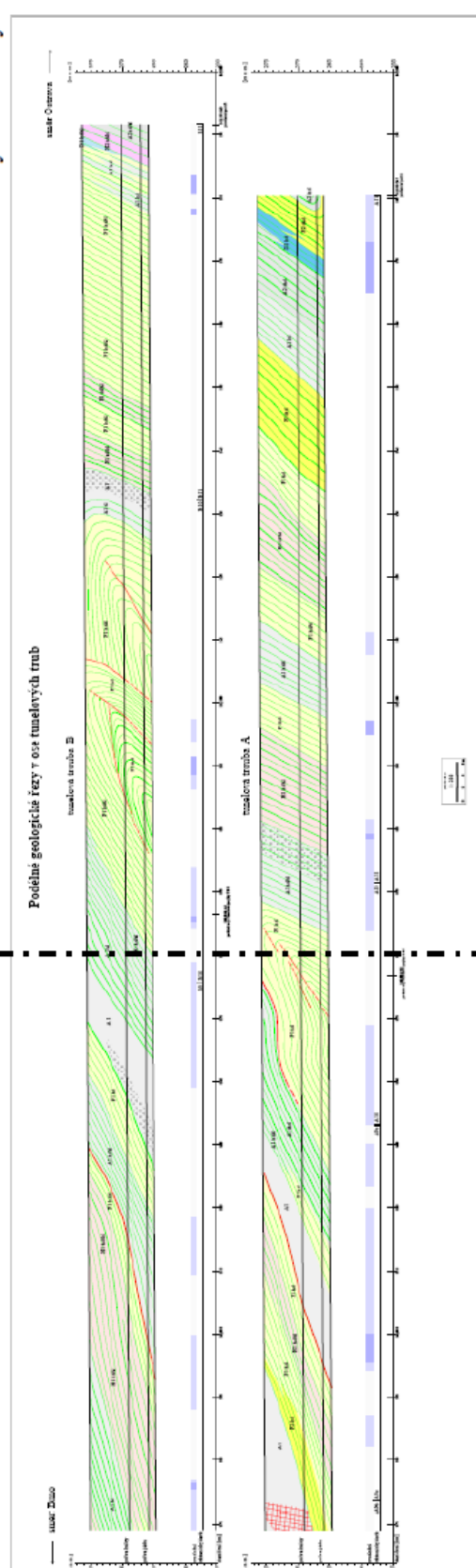
prorážka

← směr rážby (od Ostravy)



Profil 39

← směr rážby od Ostravy



Výsvětlivky ke geologické mapě a k řezům tunelových trub a spojek

Hiradecko - kryjovické souvrství (paleozoikum, karbon, visé - namur A)	
hornina zdravá	hornina tektonicky oslabená
A1	A2
aleuropelity - prachovce a jílovce tmavě šedé s matricí silně proycenou karbonátovým tmelem, proměnlivě světlejší písčované, mrazití až dekovité	
D1	D2
Droba - jemné až středně zrnitý písčovec s jílovitou matricí a karbonátovým tmelem, většinou světlé až středně šedý. Desky až hrubé laviče, zpravidla oddělované jen úzkými polohami laminačních pelitů	
F1	F2
flýš drobšá rytmičský - intenzivní střídaní vrstev písčovaných aleuropelitů a drobš, drobově polohy vytvářejí desky až tenké laviče	
H1	H2
flýš hrubě rytmičský - střídaní aleuropelitů či poloh drobšá rytmičského flýše s hrubými lavičemi drob	

Příklad interpretace typu horniny, tektonického oslabení, odolnosti a vytvoření indexu horninového typu:

F2 hrdl

Profil	Bod	Datum	Staničení [km]	Ux [mm]	Uz [mm]	Uy [mm]	α [°]	β [°]	γ [°]	Metrovník [m]	BTX- profil [m]	Staničení BTX [m]
			141,316							0		
01	220101	21.05.05	141,325	0,0	0,0	0,0				8,613		
04	220401	18.06.05	141,370	0,0	0,0	0,0				53,613		
04	220401	19.06.05	141,370	-3,6	-0,5	1,0	-26,57	7,91	-74,48	53,613		
04	220401	20.06.05	141,370	-3,7	-1,9	0,0	0,00	27,18	0,00	53,613		
04	220401	21.06.05	141,370	-5,2	-3,2	-4,0	38,66	31,61	52,43	53,613		
04	220401	22.06.05	141,370	-5,7	-1,0	-6,0	9,46	9,95	43,53	53,613		
04	220401	23.06.05	141,370	-5,6	0,4	-7,0	-3,27	-4,09	38,66	53,613		
04	220401	24.06.05	141,370	-6,4	-0,3	-8,0	2,15	2,68	38,66	53,613		
04	220401	25.06.05	141,370	-5,6	0,4	-9,0	-2,54	-4,09	31,89	53,613		
04	220401	28.06.05	141,370	-5,6	1,8	-10,0	-10,20	-17,82	29,25	53,613		
05	220501	22.06.05	141,385	0,0	0,0	0,0				68,613		385
05	220501	23.06.05	141,385	0,8	0,7	-2,0	-19,29	41,19	-21,80	68,613	6,288	391,288
05	220501	24.06.05	141,385	3,6	0,4	-4,0	-5,71	6,34	-41,99	68,613	9,506	394,506
05	220501	25.06.05	141,385	7,2	0,9	-6,0	-8,53	7,13	-50,19	68,613	11,102	396,102
05	220501	26.06.05	141,385	7,3	2,3	-7,0	-18,19	17,49	-46,20	68,613	14,312	399,312
05	220501	27.06.05	141,385	8,7	2,2	-8,0	-15,38	14,19	-47,40	68,613	15,942	400,942
05	220501	28.06.05	141,385	8,0	3,0	-9,0	-18,43	20,56	-41,63	68,613	17,548	402,548
05	220501	29.06.05	141,385	7,4	3,7	-9,0	-22,35	26,57	-39,43	68,613	19,152	404,152
05	220501	02.07.05	141,385	8,1	4,4	-10,0	-23,75	28,51	-39,01	68,613	25,623	410,623
06	220601	28.06.05	141,400	0,0	0,0	0,0				83,613		400
06	220601	29.06.05	141,400	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	83,613	4,152	404,152
06	220601	30.06.05	141,400	1,4	-0,1	0,0	0,00	-4,09	0,00	83,613	5,782	405,782
06	220601	01.07.05	141,400	2,2	0,6	-2,0	-16,70	15,26	-47,73	83,613	7,392	407,392
06	220601	02.07.05	141,400	4,3	1,1	-4,0	-15,38	14,35	-47,07	83,613	10,623	410,623
06	220601	03.07.05	141,400	5,0	0,3	-6,0	-2,86	3,43	-39,81	83,613	13,853	413,853
06	220601	04.07.05	141,400	4,2	-0,3	-7,0	2,45	-4,09	-30,96	83,613	17,076	417,076
06	220601	05.07.05	141,400	5,0	0,3	-8,0	-2,15	3,43	-32,01	83,613	20,309	420,309
06	220601	08.07.05	141,400	4,9	-1,1	-8,0	7,83	-12,65	-31,49	83,613	28,336	428,336
07	220701	07.07.05	141,420	0,0	0,0	0,0				103,613		
07	220701	08.07.05	141,420	-0,6	0,8	-8,0	-5,71	-53,13	4,29	103,613		
07	220701	09.07.05	141,420	-0,6	0,8	-9,0	-5,08	-53,13	3,81	103,613		
07	220701	10.07.05	141,420	0,8	0,6	-11,0	-3,12	36,87	-4,16	103,613		
07	220701	11.07.05	141,420	0,8	0,6	-11,0	-3,12	36,87	-4,16	103,613		
07	220701	12.07.05	141,420	-1,4	0,1	-10,0	-0,57	-4,09	7,97	103,613		
07	220701	13.07.05	141,420	-0,6	0,8	-10,0	-4,57	-53,13	3,43	103,613		
07	220701	14.07.05	141,420	-2,1	0,9	-10,0	-5,14	-23,20	11,86	103,613		
07	220701	17.07.05	141,420	-2,7	1,6	-11,0	-8,28	-30,65	13,79	103,613		
08	220801	12.07.05	141,440	0,0	0,0	0,0				123,613		
08	220801	13.07.05	141,440	-0,5	2,2	-2,0	-47,73	-77,20	14,04	123,613	5,733	
08	220801	15.07.05	141,440	-0,5	2,2	-2,0	-47,73	-77,20	14,04	123,613	12,200	
08	220801	16.07.05	141,440	0,9	2,1	-4,0	-27,70	66,80	-12,68	123,613	15,428	
08	220801	17.07.05	141,440	2,3	1,9	-5,0	-20,81	39,56	-24,70	123,613	18,671	
08	220801	18.07.05	141,440	2,2	0,5	-5,0	-5,71	12,80	-23,75	123,613	20,281	
08	220801	19.07.05	141,440	1,5	1,3	-6,0	-12,23	40,91	-14,04	123,613	21,874	
08	220801	21.07.05	141,440	0,0	0,0	-6,0	0,00	0,00	0,00	123,613	26,729	
08	220801	22.07.05	141,440	-1,4	0,1	-6,0	-0,95	-4,09	13,13	123,613	29,167	
08	220801	25.07.05	141,440	-2,2	-0,5	-6,0	4,76	12,80	20,14	123,613	36,095	
09	220901	18.07.05	141,460	0,0	0,0	0,0				143,613		
09	220901	19.07.05	141,460	2,2	0,5	-1,0	-26,57	12,80	-65,56	143,613		
09	220901	20.07.05	141,460	3,1	2,5	-4,0	-32,01	38,88	-37,78	143,613		
09	220901	22.07.05	141,460	3,1	2,5	-4,0	-32,01	38,88	-37,78	143,613		
09	220901	23.07.05	141,460	4,4	1,0	-5,0	-11,31	12,80	-41,35	143,613		
09	220901	24.07.05	141,460	3,7	1,8	-5,0	-19,80	25,94	-36,50	143,613		
09	220901	25.07.05	141,460	3,7	1,8	-5,0	-19,80	25,94	-36,50	143,613		
09	220901	28.07.05	141,460	4,4	1,0	-5,0	-11,31	12,80	-41,35	143,613		
09	220901	31.07.05	141,460	7,2	0,7	-5,0	-7,97	5,55	-55,22	143,613		
10	221001	27.07.05	141,480	0,0	0,0	0,0				163,613		
10	221001	28.07.05	141,480	1,2	4,8	-3,0	-57,99	75,96	-21,80	163,613		

10	221001	29.07.05	141,480	6,4	6,4	-6,0	-46,85	45,00	-46,85	163,613		
10	221001	30.07.05	141,480	6,5	7,8	-7,0	-48,09	50,19	-42,88	163,613		
10	221001	31.07.05	141,480	6,4	6,4	-7,0	-42,44	45,00	-42,44	163,613		
10	221001	01.08.05	141,480	4,3	7,4	-8,0	-42,77	59,84	-28,26	163,613		
10	221001	02.08.05	141,480	2,3	8,3	-9,0	-42,68	74,51	-14,34	163,613		
10	221001	03.08.05	141,480	1,7	9,1	-9,0	-45,32	79,42	-10,70	163,613		
10	221001	06.08.05	141,480	1,0	9,8	-9,0	-47,44	84,17	-6,34	163,613		
11	221101	03.08.05	141,500	0,0	0,0	0,0				183,613		
11	221101	04.08.05	141,500	0,8	0,6	0,0	0,00	36,87	90,00	183,613		
11	221101	05.08.05	141,500	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	45,00	183,613		
11	221101	06.08.05	141,500	-2,0	0,9	-1,0	-41,99	-24,23	63,43	183,613		
11	221101	07.08.05	141,500	-2,7	1,7	-2,0	-40,36	-32,20	53,47	183,613		
11	221101	08.08.05	141,500	-4,1	1,9	-2,0	-43,53	-24,86	64,00	183,613		
11	221101	09.08.05	141,500	-3,4	1,1	-2,0	-28,81	-17,93	59,53	183,613		
11	221101	10.08.05	141,500	-2,0	0,9	-3,0	-16,70	-24,23	33,69	183,613		
11	221101	13.08.05	141,500	-1,2	1,6	-3,0	-28,07	-53,13	21,80	183,613		
12	221201	09.08.05	141,520	0,0	0,0	0,0				203,613		
12	221201	10.08.05	141,520	2,0	-1,0	-2,0	26,57	-26,57	-45,00	203,613		
12	221201	11.08.05	141,520	3,0	1,1	-5,0	-12,41	20,14	-30,96	203,613		
12	221201	12.08.05	141,520	2,8	-0,3	-7,0	2,45	-6,12	-21,80	203,613		
12	221201	13.08.05	141,520	2,4	1,9	-8,0	-13,36	38,37	-16,70	203,613		
12	221201	14.08.05	141,520	3,1	2,5	-12,0	-11,77	38,88	-14,48	203,613		
12	221201	15.08.05	141,520	1,9	4,0	-13,0	-17,10	64,59	-8,32	203,613		
12	221201	16.08.05	141,520	2,5	3,3	-13,0	-14,24	52,85	-10,89	203,613		
12	221201	17.08.05	141,520	3,1	2,5	-13,0	-10,89	38,88	-13,41	203,613		
12	221201	20.08.05	141,520	0,3	2,8	-13,0	-12,15	83,88	-1,32	203,613		
13	221301	17.08.05	141,540	0,0	0,0	0,0				223,613		540
13	221301	18.08.05	141,540	1,9	4,0	-2,0	-63,43	64,59	-43,53	223,613	6,390	546,390
13	221301	19.08.05	141,540	5,5	4,3	-4,0	-47,07	38,02	-53,97	223,613	11,228	551,228
13	221301	20.08.05	141,540	6,3	4,9	-4,0	-50,77	37,87	-57,59	223,613	12,866	552,866
13	221301	21.08.05	141,540	6,8	2,7	-5,0	-28,37	21,66	-53,67	223,613	16,396	556,396
13	221301	22.08.05	141,540	10,4	2,9	-7,0	-22,50	15,58	-56,06	223,613	18,658	558,658
13	221301	23.08.05	141,540	7,6	3,3	-7,0	-25,24	23,47	-47,35	223,613	20,918	560,918
13	221301	24.08.05	141,540	8,8	1,7	-7,0	-13,65	10,93	-51,50	223,613	23,134	563,134
13	221301	27.08.05	141,540	5,2	1,5	-7,0	-12,09	16,09	-36,61	223,613	29,939	569,939
14	221401	26.08.05	141,560	0,0	0,0	0,0				243,613		560
14	221401	27.08.05	141,560	2,0	-1,0	0,0	0,00	-26,57	90,00	243,613	9,939	569,939
14	221401	28.08.05	141,560	-2,2	-0,4	-2,0	11,31	10,30	47,73	243,613	12,193	572,193
14	221401	29.08.05	141,560	-1,6	-1,2	-2,0	30,96	36,87	38,66	243,613	14,418	574,418
14	221401	30.08.05	141,560	-1,4	0,2	-2,0	-5,71	-8,13	34,99	243,613	16,653	576,653
14	221401	31.08.05	141,560	0,8	0,6	-2,0	-16,70	36,87	-21,80	243,613	17,873	577,873
14	221401	01.09.05	141,560	0,0	0,0	-2,0	0,00	0,00	0,00	243,613	20,628	580,628
14	221401	02.09.05	141,560	0,0	0,0	-2,0	0,00	0,00	0,00	243,613	22,856	582,856
14	221401	05.09.05	141,560	-1,4	0,2	-2,0	-5,71	-8,13	34,99	243,613	29,410	589,410
15	221501	03.09.05	141,580	0,0	0,0	0,0				263,613		
15	221501	04.09.05	141,580	-0,8	-0,6	0,0	-90,00	36,87	-90,00	263,613		
15	221501	05.09.05	141,580	-2,6	1,8	0,0	-90,00	-34,70	-90,00	263,613		
15	221501	06.09.05	141,580	-3,4	1,2	0,0	-90,00	-19,44	-90,00	263,613		
15	221501	07.09.05	141,580	-1,4	0,2	0,0	-90,00	-8,13	-90,00	263,613		
15	221501	08.09.05	141,580	-1,2	1,6	0,0	-90,00	-53,13	-90,00	263,613		
15	221501	09.09.05	141,580	1,0	2,0	-1,0	-63,43	63,43	-45,00	263,613		
15	221501	10.09.05	141,580	1,2	3,4	0,0	-90,00	70,56	-90,00	263,613		
15	221501	13.09.05	141,580	1,8	2,6	0,0	-90,00	55,30	-90,00	263,613		
16	221601	13.09.05	141,600	0,0	0,0	0,0				283,613		600
16	221601	14.09.05	141,600	-1,6	-1,2	-2,0	30,96	36,87	38,66	283,613	9,371	609,371
16	221601	15.09.05	141,600	-3,0	-1,0	-3,0	18,43	18,43	45,00	283,613	12,578	612,578
16	221601	16.09.05	141,600	-3,6	-0,2	-3,0	3,81	3,18	50,19	283,613	14,782	614,782
16	221601	17.09.05	141,600	-3,0	-1,0	-3,0	18,43	18,43	45,00	283,613	16,388	616,388
16	221601	18.09.05	141,600	-0,2	-1,4	-3,0	25,02	81,87	3,81	283,613	17,990	617,990
16	221601	19.09.05	141,600	-0,8	-0,6	-3,0	11,31	36,87	14,93	283,613	23,430	623,430
16	221601	20.09.05	141,600	0,6	-0,8	-3,0	14,93	-53,13	-11,31	283,613	25,655	625,655
16	221601	23.09.05	141,600	-0,8	-0,6	-4,0	8,53	36,87	11,31	283,613	32,747	632,747

17	221701	20.09.05	141,620	0,0	0,0	0,0				303,613		620
17	221701	21.09.05	141,620	-3,6	-0,1	0,0	0,00	1,59	90,00	303,613	7,318	627,318
17	221701	22.09.05	141,620	-4,2	0,7	-3,0	-13,13	-9,46	54,46	303,613	8,913	628,913
17	221701	23.09.05	141,620	-3,4	1,3	-2,0	-33,02	-20,92	59,53	303,613	12,747	632,747
17	221701	24.09.05	141,620	-2,6	1,8	-2,0	-41,99	-34,70	52,43	303,613	17,576	637,576
17	221701	25.09.05	141,620	0,0	0,0	-4,0	0,00	-0,01	0,00	303,613	19,184	639,184
17	221701	26.09.05	141,620	-2,0	1,0	-3,0	-18,43	-26,57	33,69	303,613	22,401	642,401
17	221701	27.09.05	141,620	-2,0	1,0	-3,0	-18,43	-26,57	33,69	303,613	27,240	647,240
17	221701	29.09.05	141,620	-0,6	0,8	-3,0	-14,93	-53,13	11,31	303,613	32,085	652,085
18	221801	27.09.05	141,640	0,0	0,0	0,0				323,613		
18	221801	28.09.05	141,640	-1,4	0,2	-2,0	-5,71	-8,13	34,99	323,613		
18	221801	29.09.05	141,640	-3,1	2,7	-2,0	-53,47	-41,05	57,17	323,613		
18	221801	30.09.05	141,640	-4,5	2,9	-2,0	-55,41	-32,80	66,04	323,613		
18	221801	01.10.05	141,640	-5,3	2,3	-2,0	-48,99	-23,46	69,33	323,613		
18	221801	02.10.05	141,640	-3,1	2,7	-2,0	-53,47	-41,05	57,17	323,613		
18	221801	03.10.05	141,640	-3,7	3,5	-2,0	-60,26	-43,41	61,61	323,613		
18	221801	04.10.05	141,640	-2,3	3,3	-2,0	-58,78	-55,12	48,99	323,613		
18	221801	07.10.05	141,640	-3,1	2,7	-2,0	-53,47	-41,05	57,17	323,613		
19	221901	03.10.05	141,660	0,0	0,0	0,0				343,613		
19	221901	04.10.05	141,660	-1,4	0,2	-2,0	-5,71	-8,13	34,99	343,613		
19	221901	05.10.05	141,660	-0,9	3,0	-3,0	-45,00	-73,30	16,70	343,613		
19	221901	06.10.05	141,660	1,3	3,4	-5,0	-34,22	69,08	-14,57	343,613		
19	221901	07.10.05	141,660	-0,1	3,6	-5,0	-35,75	-88,41	1,15	343,613		
19	221901	08.10.05	141,660	0,7	4,2	-5,0	-40,03	80,54	-7,97	343,613		
19	221901	09.10.05	141,660	0,5	2,8	-7,0	-21,80	79,88	-4,09	343,613		
19	221901	10.10.05	141,660	1,9	2,5	-7,0	-19,65	52,77	-15,19	343,613		
19	221901	13.10.05	141,660	0,5	2,8	-8,0	-19,29	79,88	-3,58	343,613		
20	222001	09.10.05	141,680	0,0	0,0	0,0				363,613		
20	222001	10.10.05	141,680	0,0	0,0	-1,0	0,00	-90,00	0,00	363,613		
20	222001	11.10.05	141,680	-0,3	2,2	-2,0	-47,73	-82,23	8,53	363,613		
20	222001	12.10.05	141,680	-1,7	2,5	-2,0	-51,34	-55,78	40,36	363,613		
20	222001	13.10.05	141,680	-2,8	4,1	-3,0	-53,81	-55,67	43,03	363,613		
20	222001	14.10.05	141,680	-2,6	5,5	-4,0	-53,97	-64,70	33,02	363,613		
20	222001	15.10.05	141,680	-1,7	6,1	-5,0	-50,66	-74,43	18,78	363,613		
20	222001	16.10.05	141,680	-3,1	6,3	-5,0	-51,56	-63,80	31,80	363,613		
20	222001	19.10.05	141,680	-1,7	6,1	-6,0	-45,47	-74,43	15,82	363,613		
21	222101	21.10.05	141,705	0,0	0,0	0,0				388,613		
21	222101	22.10.05	141,705	1,1	0,9	-2,0	-24,23	39,29	-28,81	388,613	6,391	
21	222101	23.10.05	141,705	3,1	0,8	-3,0	-14,93	14,47	-45,94	388,613	8,436	
21	222101	24.10.05	141,705	1,7	1,1	-4,0	-15,38	32,91	-23,03	388,613	10,467	
21	222101	25.10.05	141,705	0,8	0,6	-4,0	-8,53	36,87	-11,31	388,613	12,508	
21	222101	26.10.05	141,705	0,8	0,6	-4,0	-8,53	36,87	-11,31	388,613	14,545	
21	222101	27.10.05	141,705	0,3	1,4	-4,0	-19,29	77,91	-4,29	388,613	18,573	
21	222101	28.10.05	141,705	-0,8	-0,6	-5,0	6,84	36,87	9,09	388,613	20,555	
21	222101	31.10.05	141,705	-0,3	-1,4	-6,0	13,13	77,91	2,86	388,613	28,266	
22	222201	27.10.05	141,720	0,0	0,0	0,0				403,613		
22	222201	28.10.05	141,720	1,1	-1,7	-3,0	29,54	-57,09	-20,14	403,613		
22	222201	29.10.05	141,720	0,3	-2,2	-4,0	28,81	-82,23	-4,29	403,613		
22	222201	30.10.05	141,720	0,3	-2,2	-5,0	23,75	-82,23	-3,43	403,613		
22	222201	31.10.05	141,720	1,7	-2,5	-7,0	19,65	-55,78	-13,65	403,613		
22	222201	01.11.05	141,720	0,3	-2,2	-9,0	13,74	-82,23	-1,91	403,613		
22	222201	02.11.05	141,720	0,8	-3,1	-9,0	19,01	-75,53	-5,08	403,613		
22	222201	03.11.05	141,720	0,5	-4,4	-10,0	23,75	-83,52	-2,86	403,613		
22	222201	06.11.05	141,720	-0,8	-4,2	-12,0	19,29	79,22	3,81	403,613		
23	222301	05.11.05	141,740	0,0	0,0	0,0				423,613		
23	222301	06.11.05	141,740	-0,3	-1,4	-2,0	34,99	77,91	8,53	423,613		
23	222301	07.11.05	141,740	1,4	-0,3	-2,0	8,53	-12,09	-34,99	423,613		
23	222301	08.11.05	141,740	2,8	-0,6	-3,0	11,31	-12,09	-43,03	423,613		
23	222301	09.11.05	141,740	1,9	-1,1	-3,0	20,14	-30,07	-32,35	423,613		
23	222301	10.11.05	141,740	0,5	-0,8	-3,0	14,93	-57,99	-9,46	423,613		
23	222301	11.11.05	141,740	1,9	-1,1	-3,0	20,14	-30,07	-32,35	423,613		
23	222301	12.11.05	141,740	1,1	-1,7	-3,0	29,54	-57,09	-20,14	423,613		

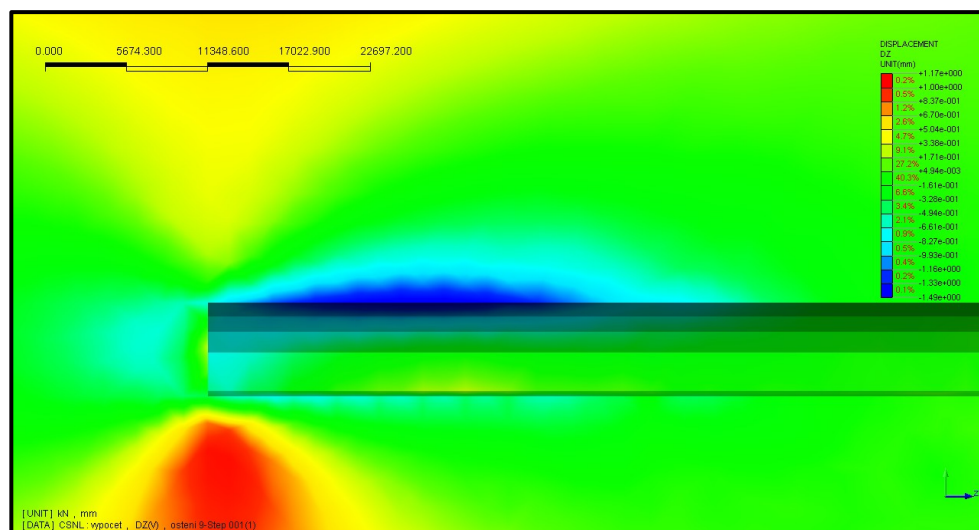
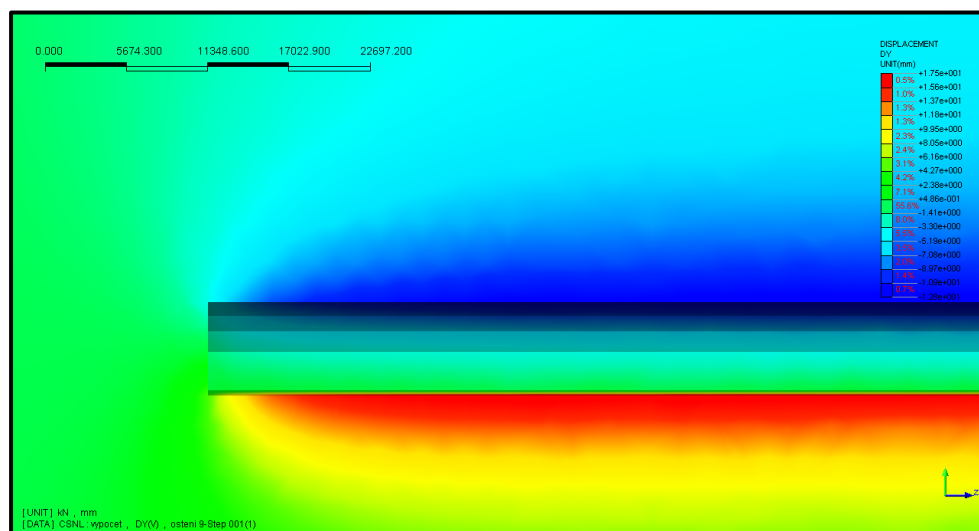
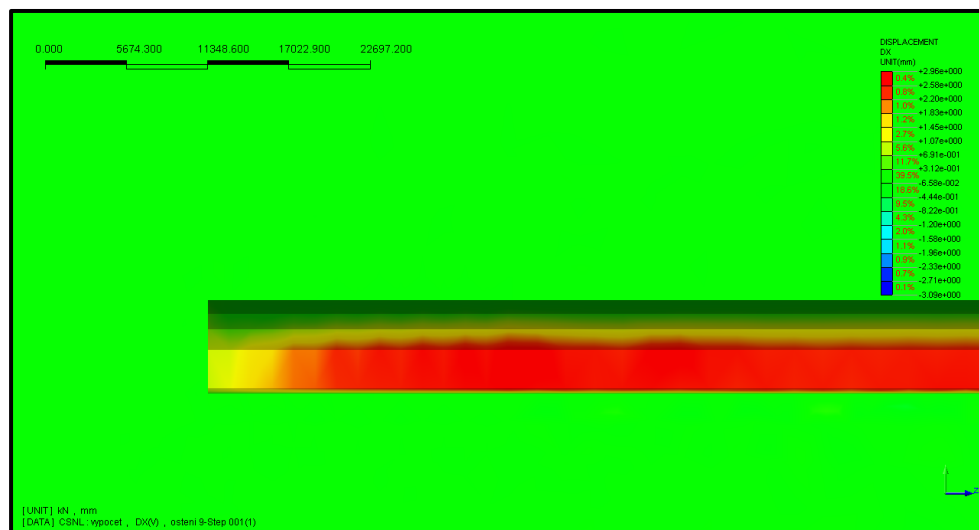
23	222301	14.11.05	141,740	2,5	-2,0	-3,0	33,69	-38,66	-39,81	423,613		
24	222401	10.11.05	141,760	0,0	0,0	0,0				443,613		
24	222401	11.11.05	141,760	1,1	1,9	-1,0	-62,24	59,93	-47,73	443,613		
24	222401	12.11.05	141,760	-0,8	3,1	-1,0	-72,12	-75,53	38,66	443,613		
24	222401	13.11.05	141,760	0,6	2,8	-2,0	-54,46	77,91	-16,70	443,613		
24	222401	14.11.05	141,760	2,0	2,5	-3,0	-39,81	51,34	-33,69	443,613		
24	222401	15.11.05	141,760	2,3	3,8	-3,0	-51,71	58,82	-37,48	443,613		
24	222401	16.11.05	141,760	0,9	4,1	-3,0	-53,81	77,62	-16,70	443,613		
24	222401	17.11.05	141,760	0,1	3,6	-3,0	-50,19	88,41	-1,91	443,613		
24	222401	20.11.05	141,760	0,1	3,6	-3,0	-50,19	88,41	-1,91	443,613		
25	222501	17.11.05	141,780	0,0	0,0	0,0				463,613		
25	222501	18.11.05	141,780	0,2	-0,7	-0,3	66,80	-74,05	-33,69	463,613		
25	222501	19.11.05	141,780	0,4	-1,0	-0,6	59,04	-68,20	-33,69	463,613		
25	222501	20.11.05	141,780	0,5	-0,3	-0,8	20,56	-30,96	-32,01	463,613		
25	222501	21.11.05	141,780	-1,1	-1,9	-3,1	31,50	59,93	19,54	463,613		
25	222501	22.11.05	141,780	-1,2	-2,2	-3,4	32,91	61,39	19,44	463,613		
25	222501	23.11.05	141,780	-1,4	-0,2	-3,4	3,37	8,13	22,38	463,613		
25	222501	24.11.05	141,780	-1,3	-0,9	-3,7	13,67	34,70	19,36	463,613		
25	222501	27.11.05	141,780	-1,4	-1,2	-3,8	17,53	40,60	20,22	463,613		
26	222601	23.11.05	141,800	0,0	0,0	0,0				483,613		
26	222601	24.11.05	141,800	0,6	1,2	-3,7	-17,97	63,43	-9,21	483,613		
26	222601	25.11.05	141,800	0,7	-0,6	-5,4	6,34	-40,60	-7,39	483,613		
26	222601	26.11.05	141,800	1,0	-1,4	-5,6	14,04	-54,46	-10,12	483,613		
26	222601	27.11.05	141,800	0,7	-1,2	-5,9	11,50	-59,74	-6,77	483,613		
26	222601	28.11.05	141,800	0,6	-1,5	-6,4	13,19	-68,20	-5,36	483,613		
26	222601	29.11.05	141,800	0,8	-1,5	-6,2	13,60	-61,93	-7,35	483,613		
26	222601	30.11.05	141,800	-0,1	-1,4	-6,5	12,15	85,91	0,88	483,613		
26	222601	03.12.05	141,800	-0,3	-1,7	-6,3	15,10	79,99	2,73	483,613		
27	222701	30.10.05	141,820	0,0	0,0	0,0				503,613		
27	222701	31.10.05	141,820	-0,2	1,3	-0,7	-61,70	-81,25	15,95	503,613		
27	222701	01.11.05	141,820	-0,3	0,7	-1,0	-34,99	-66,80	16,70	503,613		
27	222701	02.11.05	141,820	0,2	0,2	-1,4	-8,13	45,00	-8,13	503,613		
27	222701	03.11.05	141,820	0,1	0,0	-1,6	0,00	0,00	-3,58	503,613		
27	222701	04.11.05	141,820	0,4	-0,1	-1,5	3,81	-14,04	-14,93	503,613		
27	222701	05.11.05	141,820	0,5	0,3	-1,7	-10,01	30,96	-16,39	503,613		
27	222701	06.11.05	141,820	0,8	1,3	-0,8	-58,39	58,39	-45,00	503,613		
27	222701	09.11.05	141,820	0,5	1,3	-0,9	-55,30	68,96	-29,05	503,613		
28	222801	22.10.05	141,840	0,0	0,0	0,0				351,66		
28	222801	23.10.05	141,840	0,4	-0,1	-0,8	7,13	-14,04	-26,57	351,66		
28	222801	24.10.05	141,840	0,1	0,1	-1,3	-4,40	45,00	-4,40	351,66		
28	222801	25.10.05	141,840	0,1	0,1	-1,3	-4,40	45,00	-4,40	351,66		
28	222801	26.10.05	141,840	1,4	-0,1	-1,9	3,01	-4,09	-36,38	351,66		
28	222801	27.10.05	141,840	0,5	-0,1	-2,3	2,49	-11,31	-12,26	351,66		
28	222801	28.10.05	141,840	0,3	-0,5	-2,5	11,31	-59,04	-6,84	351,66		
28	222801	29.10.05	141,840	0,2	-0,8	-2,7	16,50	-75,96	-4,24	351,66		
28	222801	01.11.05	141,840	-2,0	-0,3	-5,0	3,43	8,53	21,80	351,66		
29	222901	15.10.05	141,860	0,0	0,0	0,0				331,66		
29	222901	16.10.05	141,860	0,3	-0,1	-0,5	11,31	-18,43	-30,96	331,66		
29	222901	17.10.05	141,860	0,4	0,3	-1,1	-15,26	36,87	-19,98	331,66		
29	222901	18.10.05	141,860	0,3	-0,1	-1,3	4,40	-18,43	-12,99	331,66		
29	222901	19.10.05	141,860	0,2	-1,0	-1,0	45,00	-78,69	-11,31	331,66		
29	222901	20.10.05	141,860	-0,5	-0,4	-1,5	14,93	38,66	18,43	331,66		
29	222901	21.10.05	141,860	-0,4	0,6	-1,3	-24,78	-56,31	17,10	331,66		
29	222901	22.10.05	141,860	-0,3	0,9	-1,5	-30,96	-71,57	11,31	331,66		
29	222901	25.10.05	141,860	-0,3	0,9	-1,5	-30,96	-71,57	11,31	331,66		
30	223001	07.10.05	141,880	0,0	0,0	0,0				311,66		
30	223001	08.10.05	141,880	1,6	-0,4	0,4	-45,00	-14,04	75,96	311,66		
30	223001	09.10.05	141,880	1,6	-0,4	0,4	-45,00	-14,04	75,96	311,66		
30	223001	10.10.05	141,880	1,3	-0,5	-0,2	68,20	-21,04	-81,25	311,66		
30	223001	11.10.05	141,880	1,6	-0,6	-0,7	40,60	-20,56	-66,37	311,66		
30	223001	12.10.05	141,880	1,6	-0,6	-0,7	40,60	-20,56	-66,37	311,66		
30	223001	13.10.05	141,880	1,7	-0,3	-0,5	30,96	-10,01	-73,61	311,66		

30	223001	14.10.05	141,880	1,3	-0,2	-1,2	9,46	-8,75	-47,29	311,66		
30	223001	17.10.05	141,880	1,6	-1,3	-1,6	39,09	-39,09	-45,00	311,66		
31	223101	27.09.05	141,900	0,0	0,0	0,0				291,66		
31	223101	28.09.05	141,900	-0,4	0,0	-0,9	0,00	0,00	23,96	291,66		
31	223101	29.09.05	141,900	-0,6	-0,3	-1,5	11,31	26,57	21,80	291,66		
31	223101	30.09.05	141,900	-0,5	-0,1	-1,9	3,01	11,31	14,74	291,66		
31	223101	01.10.05	141,900	-1,2	0,6	-2,5	-13,50	-26,57	25,64	291,66		
31	223101	02.10.05	141,900	-2,1	0,8	-2,9	-15,42	-20,85	35,91	291,66		
31	223101	03.10.05	141,900	-1,1	0,7	-3,5	-11,31	-32,47	17,45	291,66		
31	223101	04.10.05	141,900	-0,9	1,0	-3,3	-16,86	-48,01	15,26	291,66		
31	223101	05.10.05	141,900	-0,9	1,0	-3,3	-16,86	-48,01	15,26	291,66		
31	223101	07.10.05	141,900	0,0	0,0	-3,4	0,00	0,00	0,00	291,66		
32	223201	18.09.05	141,920	0,0	0,0	0,0				271,66		
32	223201	19.09.05	141,920	1,3	0,0	-0,9	0,00	0,00	-55,30	271,66		
32	223201	20.09.05	141,920	1,3	0,0	-0,9	0,00	0,00	-55,30	271,66		
32	223201	21.09.05	141,920	2,3	-0,7	-1,7	22,38	-16,93	-53,53	271,66		
32	223201	22.09.05	141,920	2,1	-1,1	-2,2	26,57	-27,65	-43,67	271,66		
32	223201	23.09.05	141,920	2,0	-1,5	-2,8	28,18	-36,87	-35,54	271,66		
32	223201	24.09.05	141,920	1,7	-1,4	-2,6	28,30	-39,47	-33,18	271,66		
32	223201	25.09.05	141,920	0,6	-1,1	-2,5	23,75	-61,39	-13,50	271,66		
32	223201	28.09.05	141,920	0,6	-0,8	-2,7	16,50	-53,13	-12,53	271,66		
33	223301	09.09.05	141,940	0,0	0,0	0,0				251,66		
33	223301	10.09.05	141,940	-0,1	-0,3	-1,9	8,97	71,57	3,01	251,66		
33	223301	11.09.05	141,940	-0,1	-0,3	-1,9	8,97	71,57	3,01	251,66		
33	223301	12.09.05	141,940	-0,5	-0,1	-2,1	2,73	11,31	13,39	251,66		
33	223301	13.09.05	141,940	0,1	-0,5	-2,7	10,49	-78,69	-2,12	251,66		
33	223301	14.09.05	141,940	-0,3	-1,2	-3,1	21,16	75,96	5,53	251,66		
33	223301	15.09.05	141,940	-1,1	-1,2	-2,8	23,20	47,49	21,45	251,66		
33	223301	16.09.05	141,940	-1,2	-1,4	-3,1	24,30	49,40	21,16	251,66		
33	223301	19.09.05	141,940	-0,4	-0,5	-2,9	9,78	51,34	7,85	251,66		
34	223401	29.08.05	141,960	0,0	0,0	0,0				231,66		
34	223401	30.08.05	141,960	-3,2	1,7	0,0	-90,00	-27,98	90,00	231,66		
34	223401	31.08.05	141,960	-5,4	1,7	-3,0	-29,54	-17,47	60,95	231,66		
34	223401	02.09.05	141,960	-5,4	1,7	-3,0	-29,54	-17,47	60,95	231,66		
34	223401	03.09.05	141,960	-4,1	1,2	-3,0	-21,80	-16,31	53,81	231,66		
34	223401	04.09.05	141,960	-2,7	0,8	-4,0	-11,31	-16,50	34,02	231,66		
34	223401	05.09.05	141,960	-2,2	-0,1	-4,0	1,43	2,60	28,81	231,66		
34	223401	08.09.05	141,960	-4,5	-0,1	-5,0	1,15	1,27	41,99	231,66		
35	223501	22.08.05	141,980	0,0	0,0	0,0				211,66		
35	223501	23.08.05	141,980	0,9	2,7	0,0	-90,00	71,57	-90,00	211,66		
35	223501	24.08.05	141,980	0,9	2,7	-1,0	-69,68	71,57	-41,99	211,66		
35	223501	25.08.05	141,980	2,6	3,6	-1,0	-74,48	54,16	-68,96	211,66		
35	223501	26.08.05	141,980	1,3	1,8	-1,0	-60,95	54,16	-52,43	211,66		
35	223501	27.08.05	141,980	-1,8	1,3	-1,0	-52,43	-35,84	60,95	211,66		
35	223501	28.08.05	141,980	-0,9	1,8	-1,0	-60,95	-63,43	41,99	211,66		
35	223501	29.08.05	141,980	0,4	1,3	-1,0	-52,43	72,90	-21,80	211,66		
35	223501	01.09.05	141,980	3,1	0,5	-1,0	-26,57	9,16	-72,12	211,66		
36	223601	07.08.05	142,000	0,0	0,0	0,0				191,66		
36	223601	08.08.05	142,000	-0,9	-2,7	-1,0	69,68	71,57	41,99	191,66		
36	223601	09.08.05	142,000	-0,9	-2,7	-1,0	69,68	71,57	41,99	191,66		
36	223601	10.08.05	142,000	-2,7	-3,6	-1,0	74,48	53,13	69,68	191,66		
36	223601	11.08.05	142,000	-3,5	-4,1	-2,0	64,00	49,51	60,26	191,66		
36	223601	12.08.05	142,000	-4,9	-3,6	-2,0	60,95	36,30	67,80	191,66		
36	223601	13.08.05	142,000	-4,0	-5,4	-3,0	60,95	53,47	53,13	191,66		
36	223601	14.08.05	142,000	-3,5	-4,1	-3,0	53,81	49,51	49,40	191,66		
36	223601	17.08.05	142,000	-0,4	-5,8	-4,0	55,41	86,05	5,71	191,66		
37	223701	01.07.05	142,020	0,0	0,0	0,0				171,66		
37	223701	02.07.05	142,020	0,4	-0,9	0,0	90,00	-66,04	-90,00	171,66		
37	223701	03.07.05	142,020	1,8	-1,3	-1,0	52,43	-35,84	-60,95	171,66		
37	223701	04.07.05	142,020	3,1	-1,8	-2,0	41,99	-30,14	-57,17	171,66		
37	223701	05.07.05	142,020	4,5	-2,2	-2,0	47,73	-26,05	-66,04	171,66		
37	223701	06.07.05	142,020	4,0	-1,3	-2,0	33,02	-18,00	-63,43	171,66		

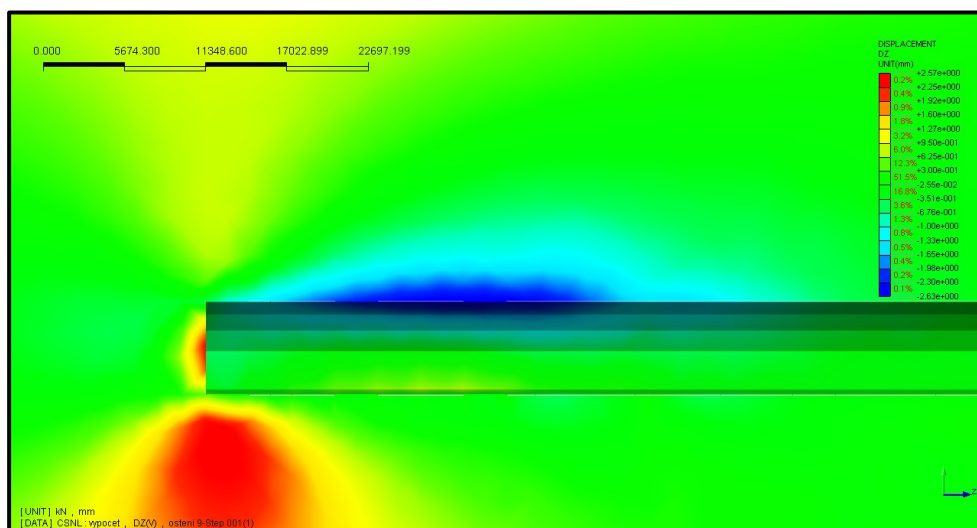
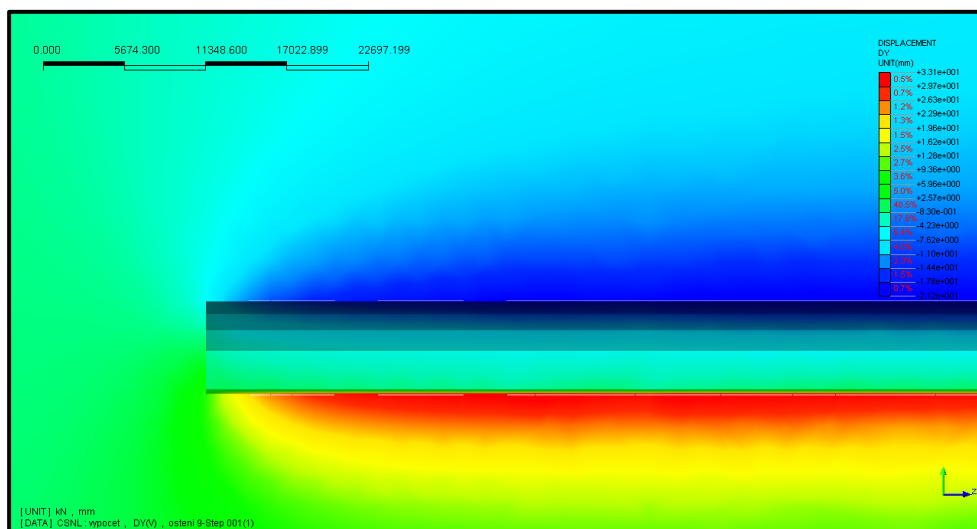
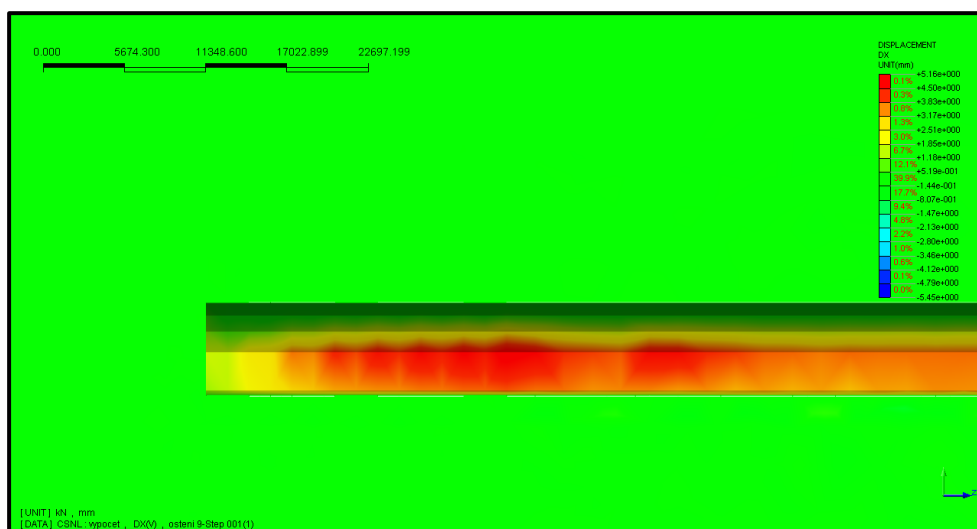
37	223701	07.07.05	142,020	5,4	-1,8	-2,0	41,99	-18,43	-69,68	171,66		
37	223701	08.07.05	142,020	3,1	-1,8	-2,0	41,99	-30,14	-57,17	171,66		
37	223701	11.07.05	142,020	0,4	-0,9	-3,0	16,70	-66,04	-7,59	171,66		
38	223801	24.06.05	142,040	0,0	0,0	0,0				151,66		
38	223801	25.06.05	142,040	0,5	1,3	0,0	0,00	68,96	0,00	151,66		
38	223801	26.06.05	142,040	0,0	0,0	-2,0	0,00	90,00	0,00	151,66		
38	223801	27.06.05	142,040	-0,5	-1,3	-3,0	23,43	68,96	9,46	151,66		
38	223801	28.06.05	142,040	0,9	-1,8	-3,0	30,96	-63,43	-16,70	151,66		
38	223801	29.06.05	142,040	0,0	-2,2	-4,0	28,81	90,00	0,00	151,66		
38	223801	30.06.05	142,040	-1,4	-1,8	-4,0	24,23	52,13	19,29	151,66		
38	223801	01.07.05	142,040	-0,9	-2,7	-4,0	34,02	71,57	12,68	151,66		
38	223801	04.07.05	142,040	-0,9	-2,7	-4,0	34,02	71,57	12,68	151,66		
39	223901	16.06.05	142,060	0,0	0,0	0,0				131,66		
39	223901	18.06.05	142,060	0,9	-1,8	-1,0	60,95	-63,43	-41,99	131,66	7,981	
39	223901	19.06.05	142,060	1,8	-1,4	-2,0	34,99	-37,87	-41,99	131,66	11,889	
39	223901	20.06.05	142,060	0,4	-0,9	-3,0	16,70	-66,04	-7,59	131,66	13,912	
39	223901	21.06.05	142,060	3,1	-1,8	-4,0	24,23	-30,14	-37,78	131,66	15,937	
39	223901	22.06.05	142,060	3,6	-0,5	-4,0	7,13	-7,91	-41,99	131,66	19,218	
39	223901	23.06.05	142,060	4,5	-0,1	-4,0	1,43	-1,27	-48,37	131,66	20,847	
39	223901	26.06.05	142,060	6,7	-0,1	-5,0	1,15	-0,86	-53,27	131,66	25,59	
40	224001	06.06.05	142,080	0,0	0,0	0,0				111,66		
40	224001	07.06.05	142,080	-2,7	1,0	-3,0	-18,43	-20,32	41,99	111,66		
40	224001	08.06.05	142,080	-2,7	-1,3	-3,0	23,43	25,71	41,99	111,66		
40	224001	09.06.05	142,080	-1,8	-0,9	-3,0	16,70	26,57	30,96	111,66		
40	224001	10.06.05	142,080	-2,2	0,1	-4,0	-1,43	-2,60	28,81	111,66		
40	224001	11.06.05	142,080	-4,5	0,1	-3,0	-1,91	-1,27	56,31	111,66		
40	224001	12.06.05	142,080	-3,6	0,5	-5,0	-5,71	-7,91	35,75	111,66		
40	224001	13.06.05	142,080	-4,0	1,4	-5,0	-15,64	-19,29	38,66	111,66		
40	224001	16.06.05	142,080	-4,5	0,1	-6,0	-0,95	-1,27	36,87	111,66		
41	224101	29.05.05	142,100	0,0	0,0	0,0				91,66		
41	224101	30.05.05	142,100	-1,0	-2,7	0,0	90,00	69,68	90,00	91,66		
41	224101	31.05.05	142,100	-1,0	-2,7	-2,0	53,47	69,68	26,57	91,66		
41	224101	01.06.05	142,100	-0,1	-2,2	-2,0	47,73	87,40	2,86	91,66		
41	224101	02.06.05	142,100	-0,5	-1,3	-3,0	23,43	68,96	9,46	91,66		
41	224101	03.06.05	142,100	-1,0	-2,7	-4,0	34,02	69,68	14,04	91,66		
41	224101	04.06.05	142,100	-0,6	-3,6	-4,0	41,99	80,54	8,53	91,66		
41	224101	05.06.05	142,100	-0,1	-4,5	-4,0	48,37	88,73	1,43	91,66		
41	224101	08.06.05	142,100	1,3	-2,7	-4,0	34,02	-64,29	-18,00	91,66		
42	224201	22.05.05	142,120	0,0	0,0	0,0				71,66		
42	224201	23.05.05	142,120	-0,8	1,8	-3,0	-30,96	-66,04	14,93	71,66		
42	224201	24.05.05	142,120	-1,7	1,4	-3,0	-25,02	-39,47	29,54	71,66		
42	224201	25.05.05	142,120	-2,1	2,3	-3,0	-37,48	-47,60	34,99	71,66		
42	224201	26.05.05	142,120	0,1	2,2	-3,0	-36,25	87,40	-1,91	71,66		
42	224201	27.05.05	142,120	-1,2	2,7	-4,0	-34,02	-66,04	16,70	71,66		
42	224201	28.05.05	142,120	-2,6	3,2	-3,0	-46,85	-50,91	40,91	71,66		
42	224201	29.05.05	142,120	-3,9	3,7	-4,0	-42,77	-43,49	44,27	71,66		
42	224201	01.06.05	142,120	-2,6	3,2	-5,0	-32,62	-50,91	27,47	71,66		
43	224301	15.05.05	142,138	0,0	0,0	0,0				53,66		
43	224301	16.05.05	142,138	-0,1	-2,2	-1,0	65,56	87,40	5,71	53,66		
43	224301	17.05.05	142,138	-1,4	-1,7	-1,0	59,53	50,53	54,46	53,66		
43	224301	18.05.05	142,138	-0,1	-2,2	-2,0	47,73	87,40	2,86	53,66		
43	224301	19.05.05	142,138	-2,3	-2,1	-2,0	46,40	42,40	48,99	53,66		
43	224301	20.05.05	142,138	-2,3	-2,1	-3,0	34,99	42,40	37,48	53,66		
43	224301	21.05.05	142,138	-1,0	-2,6	-3,0	40,91	68,96	18,43	53,66		
43	224301	22.05.05	142,138	-0,1	-2,2	-2,0	47,73	87,40	2,86	53,66		
43	224301	25.05.05	142,138	-1,4	-1,7	-3,0	29,54	50,53	25,02	53,66		
46	224601	07.04.05	142,183	0,0	0,0	0,0				8,66		
			142,192							0		

Příloha 3: Posuny U_x , U_y , U_z ve fázi „osteni 9“ pro jednotlivá homogenní prostředí

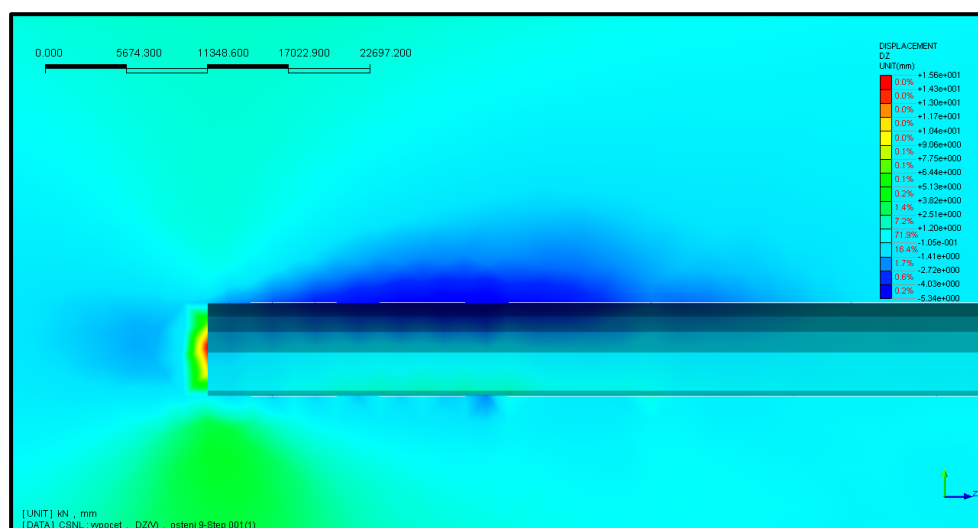
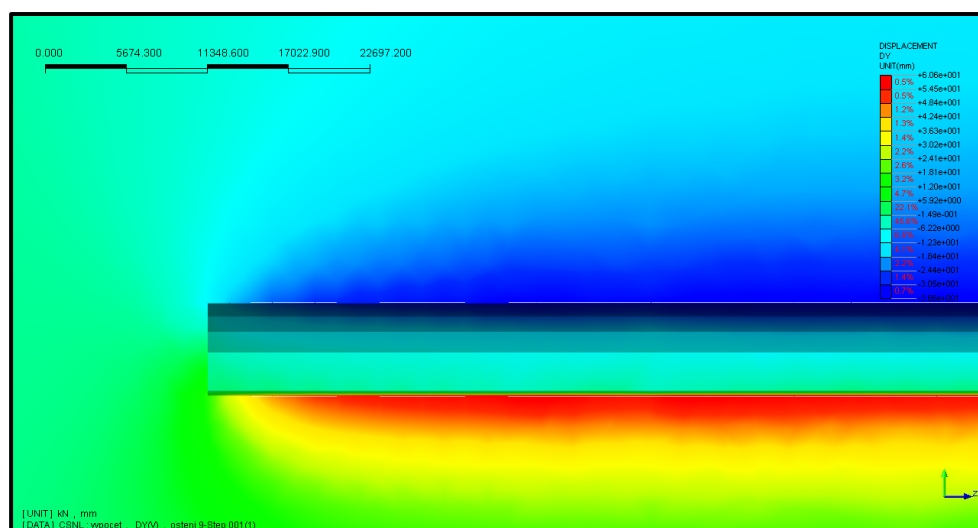
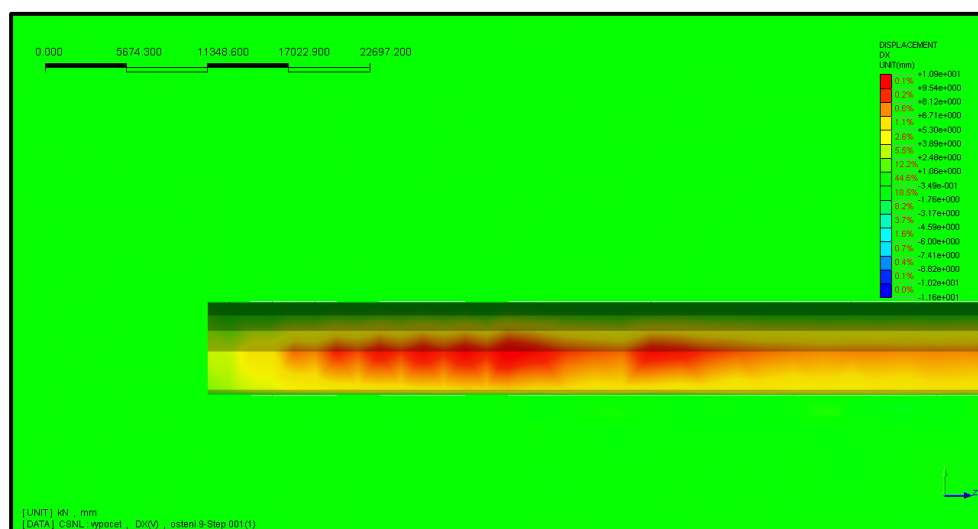
R2



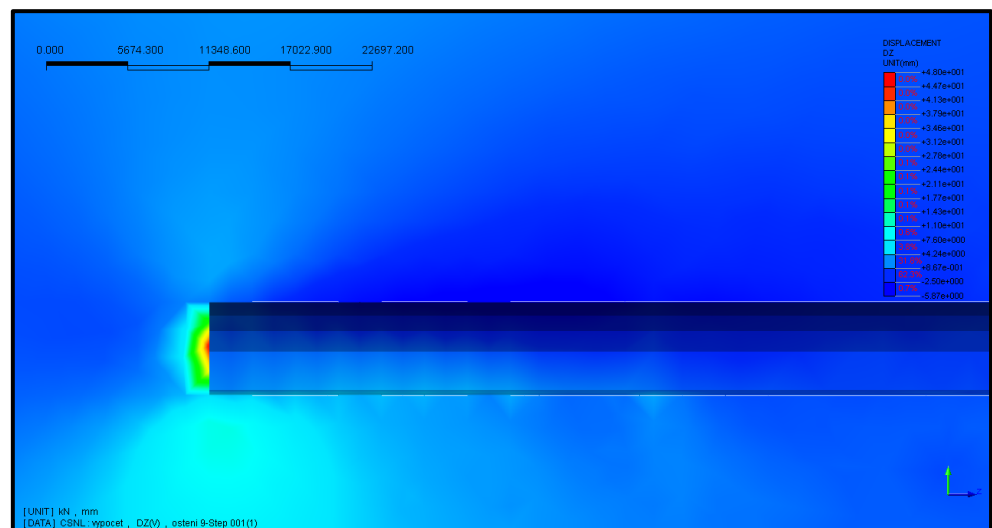
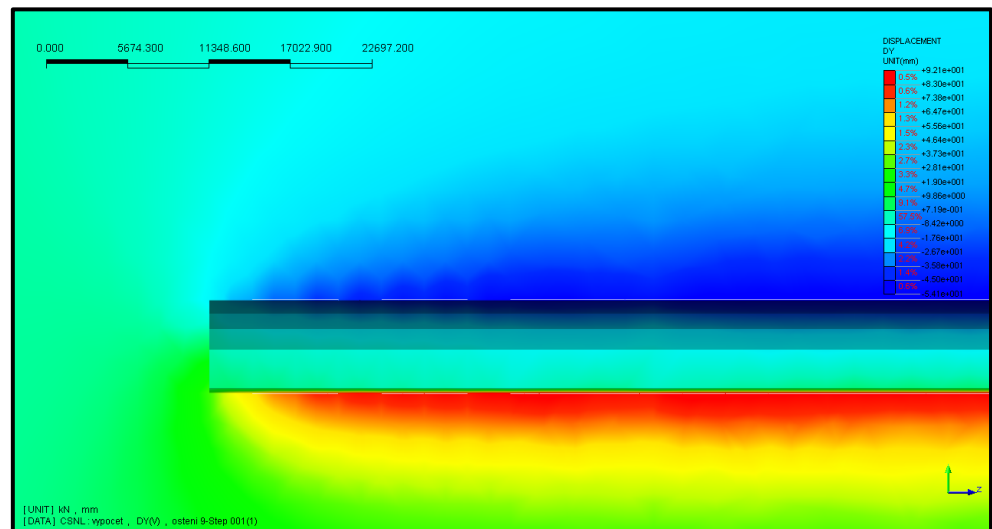
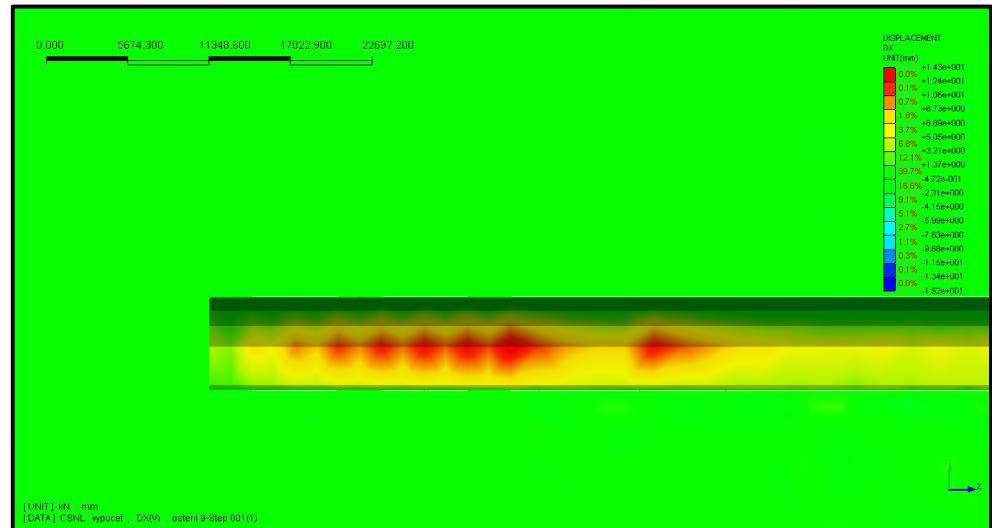
R3



R5



R6



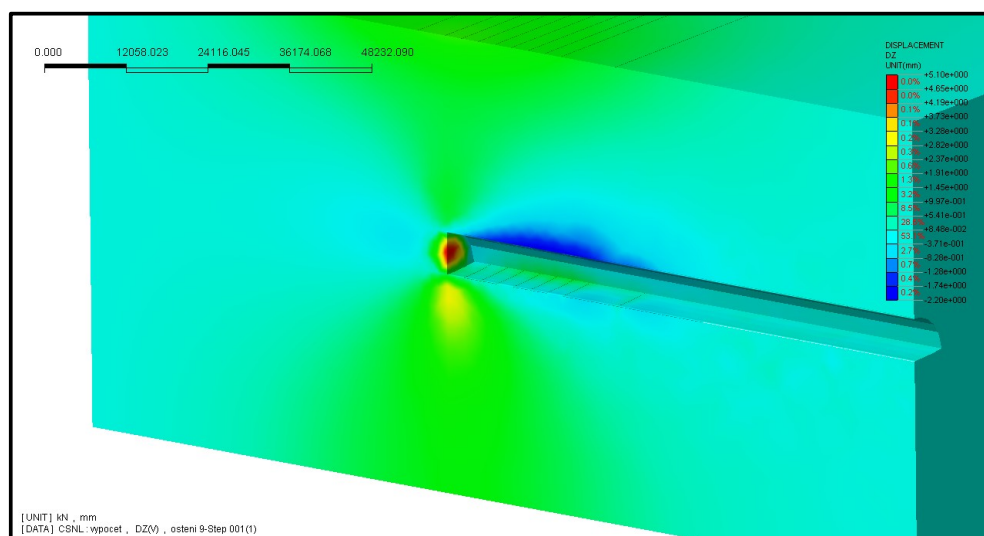
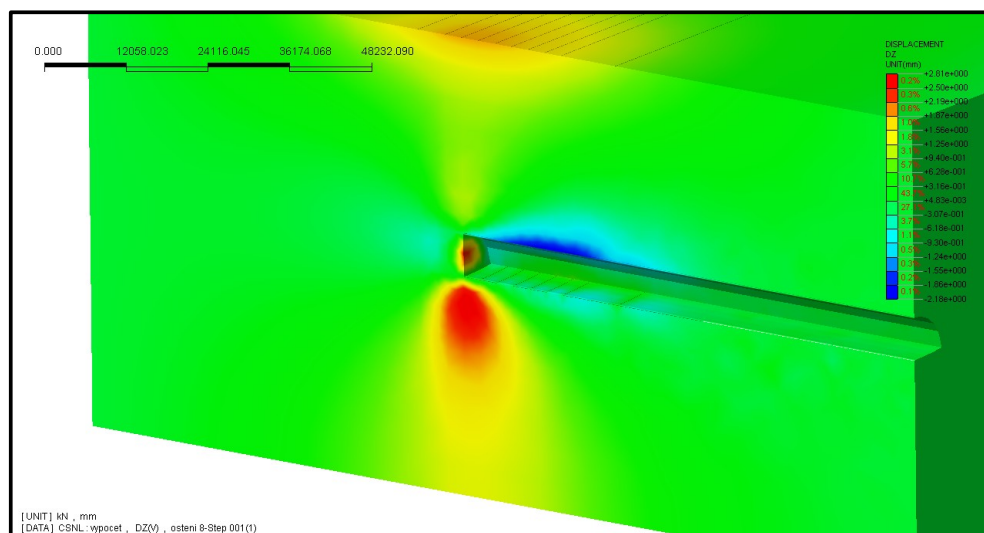
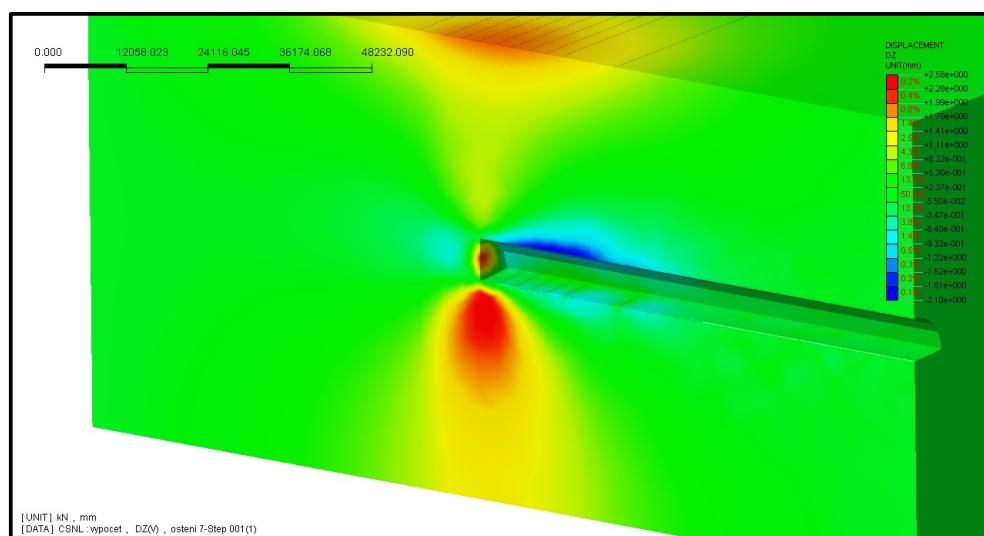
Příloha 4: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.3

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	posuny [mm]		posuny [mm]			[m]	posuny [mm]		posuny [mm]		
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-3,62	-0,62	-2,03	-0,77	0,56						
5	-7,55	-0,93	-3,98	-0,82	0,56						
8	-9,71	-1,14	-5,07	-0,81	0,75						
11	-10,67	-1,28	-5,53	-0,76	0,98	2	-3,40	-0,70	-1,95	-0,74	0,50
14	-11,21	-1,37	-5,78	-0,70	1,12	5	-7,33	-1,03	-3,90	-0,78	0,49
17	-11,55	-1,41	-5,94	-0,65	1,19	8	-9,51	-1,24	-5,00	-0,77	0,68
20	-11,85	-1,42	-6,14	-0,58	1,26	11	-10,92	-1,44	-5,69	-0,67	1,03
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-6,21	-0,48	-3,36	-0,83	0,75						
5	-12,33	-1,09	-6,27	-1,00	0,82						
8	-15,83	-1,57	-7,91	-1,08	1,22						
11	-17,41	-1,96	-8,61	-1,10	1,67	2	-5,64	-0,55	-3,10	-0,70	0,67
14	-18,32	-2,24	-9,01	-1,10	1,93	5	-11,75	-1,16	-6,00	-0,84	0,74
17	-18,88	-2,43	-9,27	-1,10	2,06	8	-15,28	-1,65	-7,64	-0,91	1,14
20	-19,46	-2,60	-9,57	-1,08	2,17	11	-17,64	-2,22	-8,72	-0,90	1,81
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-12,00	-1,38	-6,05	-1,99	1,42						
5	-21,18	-2,50	-9,98	-2,21	2,25						
8	-26,90	-3,35	-12,32	-2,31	3,32						
11	-29,75	-4,06	-13,42	-2,34	4,25	2	-11,90	-1,43	-5,10	-1,82	1,46
14	-31,46	-4,59	-14,12	-2,34	4,79	5	-19,57	-2,47	-9,06	-1,92	2,32
17	-32,52	-4,99	-14,57	-2,37	5,07	8	-25,29	-3,31	-11,38	-1,99	3,41
20	-33,59	-5,34	-15,10	-2,33	5,30	11	-29,65	-4,33	-13,16	-1,92	4,83
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-19,62	1,03	-9,14	-0,58	0,63						
5	-31,69	-0,42	-14,07	-0,93	1,99						
8	-39,24	-1,76	-17,03	-1,24	3,52						
11	-43,19	-2,91	-18,52	-1,47	4,81	2	-17,19	1,33	-7,55	-0,30	0,19
14	-45,57	-3,87	-19,54	-1,69	5,52	5	-29,06	-0,13	-12,40	-0,60	1,58
17	-47,00	-4,71	-20,21	-2,01	5,86	8	-36,44	-1,59	-15,27	-1,04	3,08
20	-48,47	-5,42	-21,05	-2,15	6,11	11	-42,68	-3,25	-17,83	-1,17	5,04

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]		
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	9,79		20,77	-53,80							
5	7,04		11,66	-55,77							
8	6,72		9,10	-47,38							
11	6,86		7,78	-37,53							
14	6,94		6,91	-32,07		2	11,67		20,82	-55,83	
17	6,95		6,26	-28,62		5	7,98		11,34	-57,84	
20	6,85		5,40	-24,66		8	7,45		8,77	-48,51	
						11	7,51		6,70	-33,04	
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	4,39		13,82	-47,73							
5	5,05		9,07	-50,58							
8	5,67		7,81	-41,55							
11	6,42		7,27	-33,24							
14	6,96		6,96	-29,74		2	5,60		12,76	-46,23	
17	7,33		6,79	-28,18		5	5,66		7,95	-48,64	
20	7,61		6,45	-26,55		8	6,17		6,83	-38,68	
						11	7,17		5,88	-26,43	
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	6,57		18,24	-54,56							
5	6,73		12,49	-44,54							
8	7,10		10,63	-34,89							
11	7,77		9,88	-28,80							
14	8,31		9,43	-26,07		2	6,85		19,64	-51,32	
17	8,73		9,24	-25,05		5	7,18		11,94	-39,55	
20	9,03		8,75	-23,68		8	7,45		9,94	-30,31	
						11	8,30		8,30	-21,68	
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	-3,00		3,64	-42,70							
5	0,75		3,78	-25,01							
8	2,56		4,18	-19,47							
11	3,86		4,53	-16,95							
14	4,86		4,95	-17,06		2	-4,44		2,29	-57,96	
17	5,73		5,69	-18,95		5	0,26		2,78	-20,90	
20	6,38		5,82	-19,36		8	2,50		3,88	-18,60	
						11	4,35		3,75	-13,06	

Příloha 5: Příklad grafického vykreslení vývoje podélných posunů Uz – Model 2

R3→R4



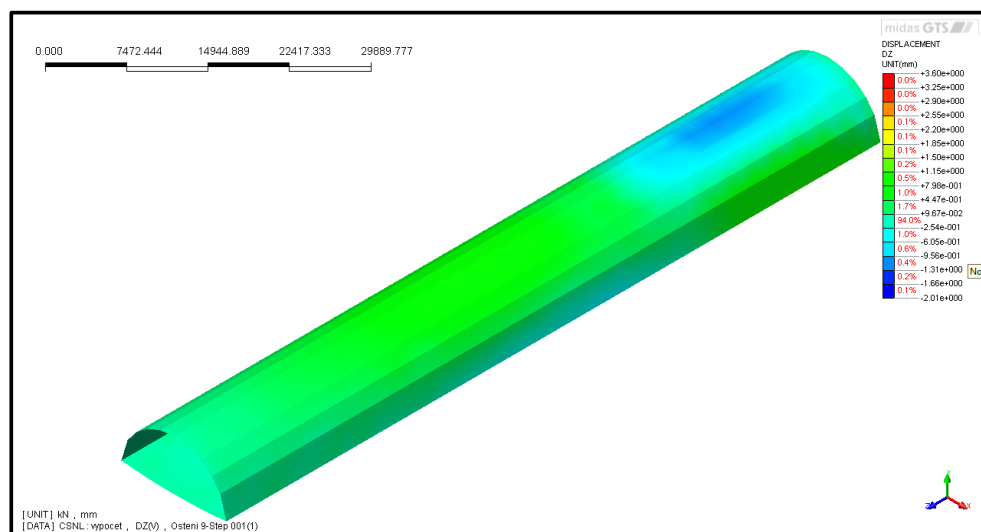
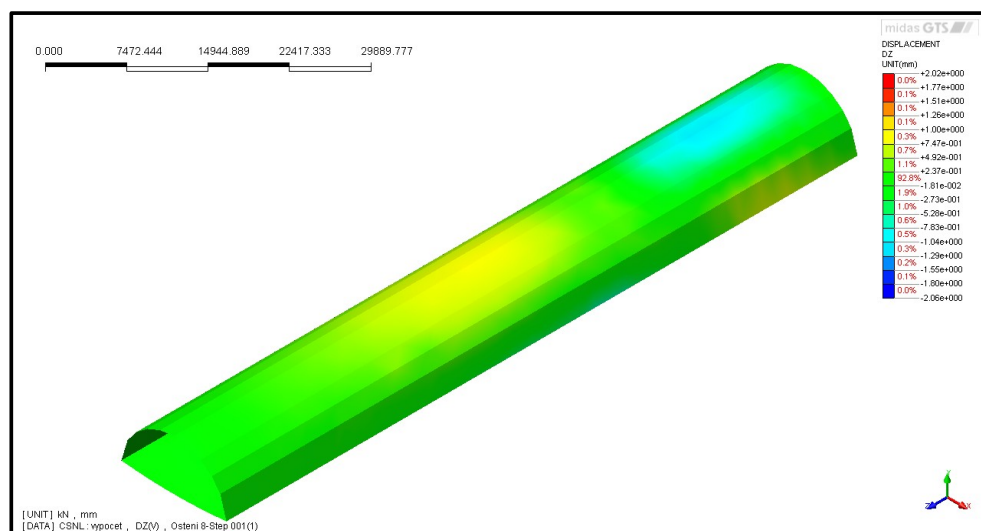
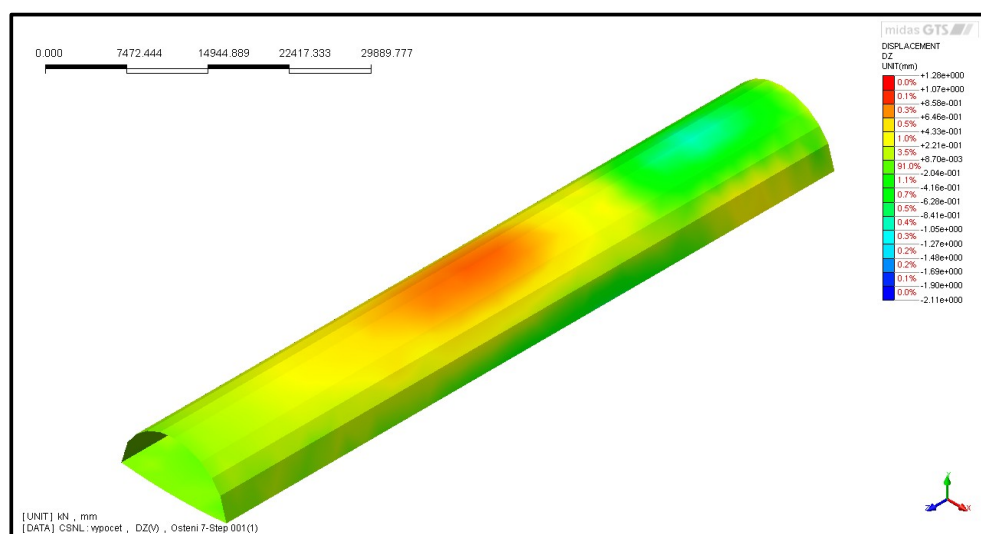
Příloha 6: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.4

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	posuny [mm]		posuny [mm]			[m]	posuny [mm]		posuny [mm]		
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-5,80	-1,26	-3,11	-0,91	0,76						
5	-11,75	-1,78	-5,95	-1,13	0,83						
8	-15,17	-2,07	-7,56	-1,26	1,20						
11	-16,70	-2,26	-8,25	-1,32	1,62						
14	-17,57	-2,34	-8,64	-1,37	1,85	2	-5,03	-0,77	-2,72	-0,79	0,66
17	-18,09	-2,38	-8,89	-1,43	1,97	5	-10,89	-1,42	-5,53	-1,01	0,71
20	-18,58	-2,36	-9,14	-1,53	2,05	8	-14,28	-1,73	-7,14	-1,19	1,06
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			11	-16,34	-1,87	-8,11	-1,38	1,61
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux	0 m	997 / Strop		998 / Bok		
2	-6,21	-0,48	-3,36	-0,83	0,75		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
5	-12,33	-1,09	-6,27	-1,00	0,82						
8	-15,83	-1,57	-7,91	-1,08	1,22						
11	-17,41	-1,96	-8,61	-1,10	1,67						
14	-18,32	-2,24	-9,01	-1,10	1,93						
17	-18,88	-2,43	-9,27	-1,10	2,06	2	-5,64	-0,55	-3,10	-0,70	0,67
20	-19,46	-2,60	-9,57	-1,08	2,17	5	-11,75	-1,16	-6,00	-0,84	0,74
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			8	-15,28	-1,65	-7,64	-0,91	1,14
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux	11	-17,64	-2,22	-8,72	-0,90	1,81
2	-6,50	-0,40	-3,53	-0,81	0,75	0 m	997 / Strop		998 / Bok		
5	-12,70	-0,96	-6,47	-0,95	0,83		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
8	-16,26	-1,40	-8,11	-0,99	1,25						
11	-17,86	-1,74	-8,82	-0,97	1,72						
14	-18,80	-1,98	-9,23	-0,93	1,99						
17	-19,39	-2,11	-9,50	-0,88	2,14						
20	-20,06	-2,15	-9,85	-0,70	2,27	2	-6,01	-0,47	-3,32	-0,70	0,69
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			5	-12,28	-0,99	-6,28	-0,77	0,77
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux	8	-15,89	-1,38	-7,93	-0,75	1,22
2	-6,61	-0,38	-3,59	-0,83	0,76	11	-18,57	-1,77	-9,15	-0,49	2,00
5	-12,85	-0,93	-6,55	-0,95	0,84	0 m	997 / Strop		998 / Bok		
8	-16,41	-1,34	-8,19	-0,97	1,27		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
11	-18,03	-1,66	-8,90	-0,92	1,75						
14	-18,99	-1,86	-9,32	-0,84	2,03						
17	-19,60	-1,95	-9,59	-0,74	2,18						
20	-20,36	-1,82	-9,99	-0,37	2,34						
						2	-6,17	-0,46	-3,42	-0,72	0,71
						5	-12,51	-0,93	-6,40	-0,74	0,81
						8	-16,18	-1,25	-8,07	-0,65	1,29
						11	-19,18	-1,43	-9,42	-0,10	2,17

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]		
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	12,23		16,27	-49,99							
5	8,63		10,72	-53,58							
8	7,77		9,44	-46,39							
11	7,70		9,07	-39,07							
14	7,57		8,99	-36,43		2	8,67		16,12	-50,03	
17	7,51		9,12	-35,94		5	7,41		10,33	-54,74	
20	7,24		9,52	-36,80		8	6,92		9,43	-48,28	
						11	6,53		9,63	-40,53	
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	4,39		13,82	-47,73							
5	5,05		9,07	-50,58							
8	5,67		7,81	-41,55							
11	6,42		7,27	-33,24							
14	6,96		6,96	-29,74		2	5,60		12,76	-46,23	
17	7,33		6,79	-28,18		5	5,66		7,95	-48,64	
20	7,61		6,45	-26,55		8	6,17		6,83	-38,68	
						11	7,17		5,88	-26,43	
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	3,49		12,99	-47,22							
5	4,33		8,37	-48,98							
8	4,91		6,99	-38,44							
11	5,57		6,27	-29,34							
14	6,00		5,74	-25,03		2	4,47		11,89	-45,31	
17	6,22		5,27	-22,32		5	4,63		6,97	-44,81	
20	6,11		4,05	-17,06		8	4,98		5,42	-31,57	
						11	5,45		3,04	-13,65	
0 m	1162 / Strop		1163 / Bok			0 m	997 / Strop		998 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	3,33		12,95	-47,49							
5	4,12		8,22	-48,53							
8	4,66		6,73	-37,20							
11	5,25		5,87	-27,59							
14	5,59		5,18	-22,62		2	4,26		11,87	-45,32	
17	5,68		4,42	-18,76		5	4,26		6,62	-42,71	
20	5,12		2,14	-9,05		8	4,40		4,63	-26,94	
						11	4,27		0,63	-2,72	

Příloha 7: Podélné posuny ostění s přibližováním se čelby k nehomogenitě – Model 3

R3→R6



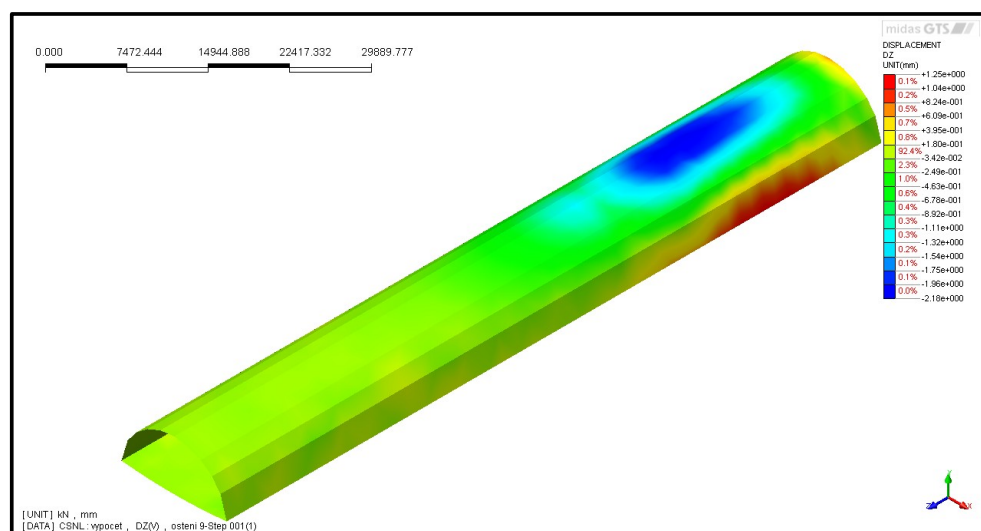
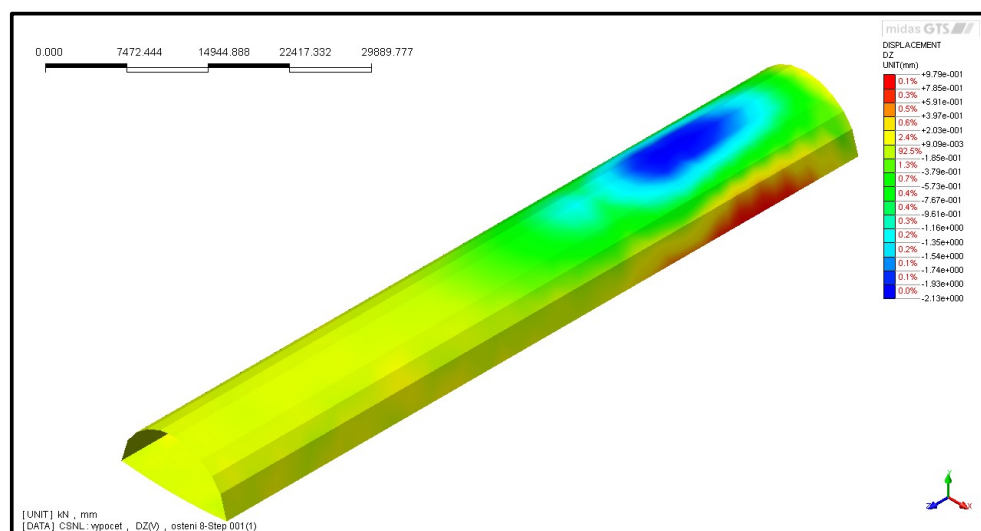
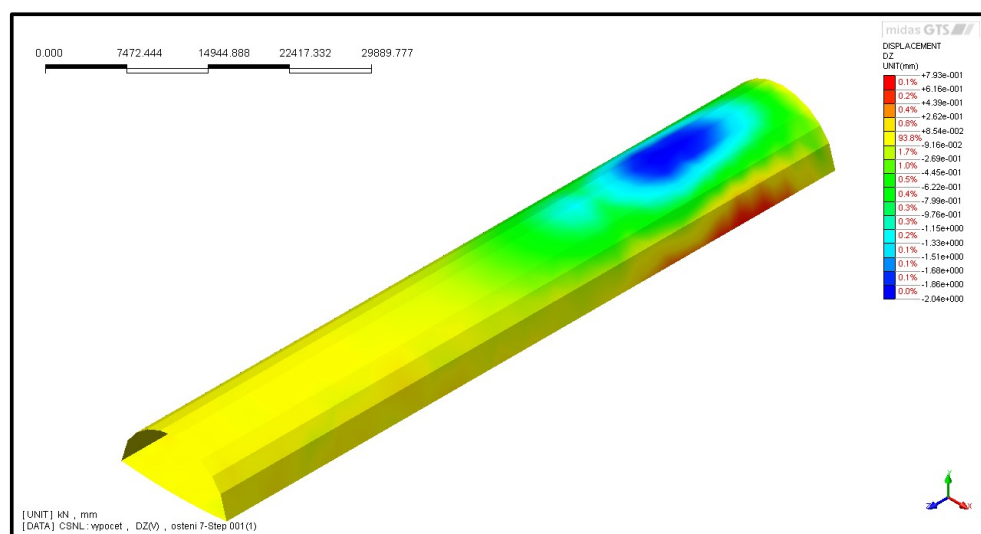
Příloha 8: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.5

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	posuny [mm]		posuny [mm]			[m]	posuny [mm]		posuny [mm]		
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	U _y	U _z	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _y	U _z	U _x
2	-6,20	-1,21	-3,45	-1,06	0,86						
5	-12,54	-1,84	-6,53	-1,22	0,99						
8	-16,20	-2,17	-8,27	-1,31	1,44						
11	-17,86	-2,48	-9,04	-1,33	1,92	2	-5,85	-0,85	-3,21	-0,86	0,63
14	-18,83	-2,73	-9,51	-1,35	2,18	5	-12,16	-1,49	-6,26	-1,00	0,72
17	-19,43	-2,91	-9,81	-1,37	2,31	8	-15,80	-2,00	-7,99	-1,10	1,16
20	-20,04	-3,08	-10,14	-1,36	2,42	11	-18,23	-2,59	-9,16	-1,10	1,84
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	U _y	U _z	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _y	U _z	U _x
2	-6,21	-0,48	-3,36	-0,83	0,75						
5	-12,33	-1,09	-6,27	-1,00	0,82						
8	-15,83	-1,57	-7,91	-1,08	1,22						
11	-17,41	-1,96	-8,61	-1,10	1,67	2	-5,64	-0,55	-3,10	-0,70	0,67
14	-18,32	-2,24	-9,01	-1,10	1,93	5	-11,75	-1,16	-6,00	-0,84	0,74
17	-18,88	-2,43	-9,27	-1,10	2,06	8	-15,28	-1,65	-7,64	-0,91	1,14
20	-19,46	-2,60	-9,57	-1,08	2,17	11	-17,64	-2,22	-8,72	-0,90	1,81
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	U _y	U _z	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _y	U _z	U _x
2	-6,39	-0,09	-3,51	-0,61	0,74						
5	-12,27	-0,61	-6,32	-0,70	0,86						
8	-15,60	-1,03	-7,82	-0,74	1,29						
11	-17,07	-1,36	-8,43	-0,72	1,76	2	-5,57	-0,26	-2,95	-0,44	0,57
14	-17,89	-1,61	-8,75	-0,70	2,01	5	-11,42	-0,82	-5,67	-0,53	0,67
17	-18,38	-1,76	-8,93	-0,67	2,15	8	-14,76	-1,26	-7,12	-0,57	1,12
20	-18,88	-1,87	-9,15	-0,59	2,26	11	-17,00	-1,75	-8,00	-0,47	1,85
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	U _y	U _z	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _y	U _z	U _x
2	-6,55	0,45	-3,62	-0,26	0,67						
5	-12,11	0,04	-6,22	-0,29	0,77						
8	-15,18	-0,30	-7,55	-0,30	1,20						
11	-16,50	-0,58	-8,04	-0,25	1,65	2	-5,40	0,19	-2,79	-0,12	0,53
14	-17,21	-0,78	-8,26	-0,20	1,90	5	-10,85	-0,30	-5,26	-0,17	0,62
17	-17,60	-0,89	-8,35	-0,13	2,03	8	-13,94	-0,69	-6,51	-0,16	1,06
20	-18,01	-0,91	-8,48	0,05	2,14	11	-15,98	-1,07	-7,19	0,06	1,80

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]		
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	11,02		17,16	-51,22							
5	8,35		10,63	-50,99							
8	7,63		9,02	-42,35							
11	7,89		8,37	-34,74							
14	8,25		8,08	-31,80		2	8,26		14,99	-53,74	
17	8,53		7,95	-30,69		5	7,00		9,11	-54,20	
20	8,73		7,63	-29,34		8	7,22		7,81	-43,31	
						11	8,09		6,83	-30,78	
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	4,39		13,82	-47,73							
5	5,05		9,07	-50,58							
8	5,67		7,81	-41,55							
11	6,42		7,27	-33,24							
14	6,96		6,96	-29,74		2	5,60		12,76	-46,23	
17	7,33		6,79	-28,18		5	5,66		7,95	-48,64	
20	7,61		6,45	-26,55		8	6,17		6,83	-38,68	
						11	7,17		5,88	-26,43	
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	0,82		9,85	-39,48							
5	2,83		6,32	-39,25							
8	3,76		5,40	-29,74							
11	4,56		4,89	-22,29							
14	5,13		4,56	-19,13		2	2,69		8,57	-37,76	
17	5,48		4,30	-17,35		5	4,10		5,38	-38,52	
20	5,66		3,66	-14,52		8	4,87		4,58	-27,07	
						11	5,88		3,34	-14,20	
0 m	1339 / Strop		1351 / Bok			0 m	1192 / Strop		1195 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	-3,90		4,15	-21,53							
5	-0,21		2,70	-20,79							
8	1,13		2,25	-13,90							
11	2,02		1,79	-8,65							
14	2,60		1,36	-5,92		2	-2,01		2,47	-12,88	
17	2,90		0,88	-3,63		5	1,60		1,84	-15,19	
20	2,89		-0,31	1,23		8	2,82		1,41	-8,62	
						11	3,84		-0,45	1,79	

Příloha 9: Podélné posuny ostění s přibližováním se čelby k nehomogenitě – Model 4

R3→R6



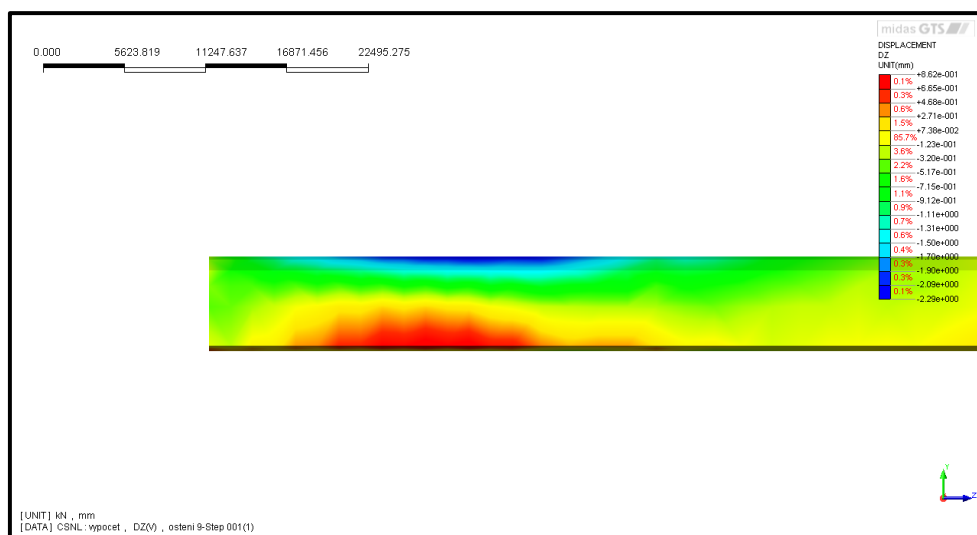
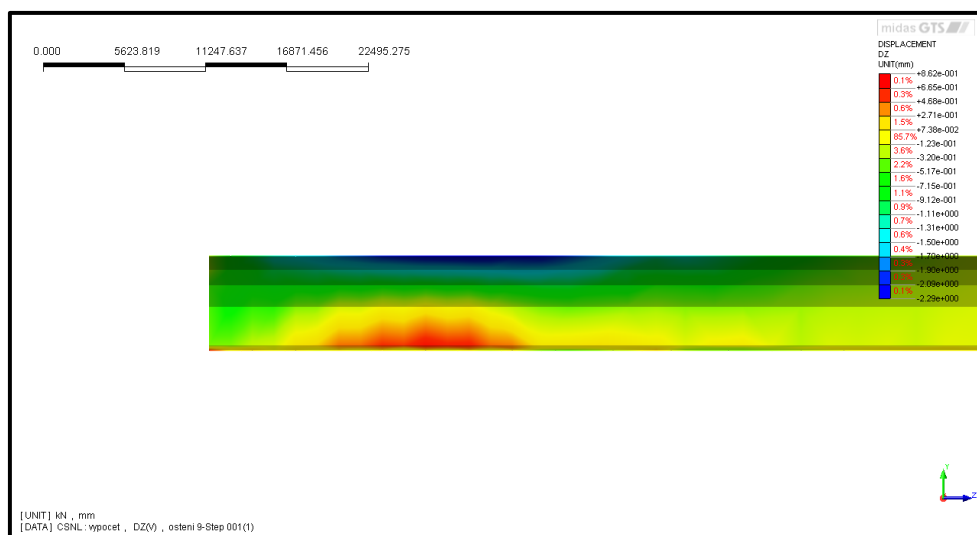
Příloha 10: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.6

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	posuny [mm]		posuny [mm]			[m]	posuny [mm]		posuny [mm]		
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-6,02	-0,75	-3,20	-0,82	0,78						
5	-12,02	-1,33	-6,03	-0,95	0,93						
8	-15,42	-1,75	-7,59	-1,03	1,35						
11	-16,89	-2,08	-8,24	-1,04	1,80	2	-5,42	-0,65	-2,91	-0,63	0,57
14	-17,72	-2,30	-8,59	-1,06	2,04	5	-11,19	-1,20	-5,68	-0,75	0,63
17	-18,20	-2,47	-8,80	-1,07	2,16	8	-14,42	-1,69	-7,15	-0,84	1,03
20	-18,70	-2,60	-9,03	-1,06	2,26	11	-16,46	-2,18	-8,04	-0,85	1,65
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-6,21	-0,48	-3,36	-0,83	0,75						
5	-12,33	-1,09	-6,27	-1,00	0,82						
8	-15,83	-1,57	-7,91	-1,08	1,22						
11	-17,41	-1,96	-8,61	-1,10	1,67	2	-5,64	-0,55	-3,10	-0,70	0,67
14	-18,32	-2,24	-9,01	-1,10	1,93	5	-11,75	-1,16	-6,00	-0,84	0,74
17	-18,88	-2,43	-9,27	-1,10	2,06	8	-15,28	-1,65	-7,64	-0,91	1,14
20	-19,46	-2,60	-9,57	-1,08	2,17	11	-17,64	-2,22	-8,72	-0,90	1,81
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-6,36	-0,49	-3,39	-0,79	0,80						
5	-12,70	-1,09	-6,39	-0,91	0,96						
8	-16,35	-1,57	-8,09	-0,97	1,42						
11	-18,02	-1,94	-8,85	-0,96	1,90	2	-6,00	-0,54	-3,24	-0,65	0,63
14	-19,01	-2,22	-9,31	-0,95	2,18	5	-12,42	-1,15	-6,32	-0,77	0,74
17	-19,65	-2,40	-9,61	-0,93	2,32	8	-16,23	-1,63	-8,10	-0,81	1,22
20	-20,33	-2,57	-9,98	-0,87	2,45	11	-19,04	-2,19	-9,43	-0,73	2,00
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
	Uy	Uz	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Uy	Uz	Ux
2	-6,41	-0,22	-3,41	-0,57	0,77						
5	-12,76	-0,80	-6,43	-0,68	0,92						
8	-16,45	-1,27	-8,16	-0,74	1,38						
11	-18,17	-1,63	-8,95	-0,72	1,87	2	-6,15	-0,17	-3,30	-0,38	0,61
14	-19,23	-1,88	-9,45	-0,69	2,15	5	-12,72	-0,76	-6,47	-0,46	0,72
17	-19,92	-2,04	-9,80	-0,64	2,30	8	-16,73	-1,20	-8,36	-0,48	1,22
20	-20,68	-2,18	-10,24	-0,53	2,44	11	-19,88	-1,70	-9,90	-0,31	2,07

vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice		bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]		sm. úhly [°]		
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
	α		α	β			α		α	β	
2	7,11		14,46	-46,44							
5	6,33		8,95	-45,66							
8	6,49		7,70	-37,16							
11	7,01		7,21	-30,09							
14	7,41		7,01	-27,38		2	6,86		12,13	-47,77	
17	7,74		6,93	-26,31		5	6,14		7,56	-49,92	
20	7,91		6,67	-25,06		8	6,67		6,70	-39,11	
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			11	7,53		6,07	-27,41	
	α		α	β		0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
2	4,39		13,82	-47,73			α		α	β	
5	5,05		9,07	-50,58							
8	5,67		7,81	-41,55							
11	6,42		7,27	-33,24							
14	6,96		6,96	-29,74							
17	7,33		6,79	-28,18		2	5,60		12,76	-46,23	
20	7,61		6,45	-26,55		5	5,66		7,95	-48,64	
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			8	6,17		6,83	-38,68	
	α		α	β		11	7,17		5,88	-26,43	
2	4,45		13,14	-44,59		0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
5	4,89		8,08	-43,32			α		α	β	
8	5,47		6,84	-34,32							
11	6,15		6,22	-26,85							
14	6,66		5,83	-23,59							
17	6,97		5,53	-21,83							
20	7,19		4,98	-19,55		2	5,15		11,43	-45,98	
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			5	5,31		6,91	-45,83	
	α		α	β		8	5,75		5,74	-33,71	
2	1,98		9,55	-36,76		11	6,56		4,43	-20,03	
5	3,60		6,07	-36,64		0 m	1153 / Strop		1165 / Bok		
8	4,41		5,19	-28,25			α		α	β	
11	5,12		4,60	-21,11							
14	5,59		4,15	-17,72							
17	5,86		3,73	-15,49							
20	6,01		2,97	-12,26							
0 m	1336 / Strop		1339 / Bok			2	1,61		6,48	-31,73	
	α		α	β		5	3,41		4,08	-32,61	
2	1,98		9,55	-36,76		8	4,10		3,26	-21,31	
5	3,60		6,07	-36,64		11	4,87		1,77	-8,41	
8	4,41		5,19	-28,25							
11	5,12		4,60	-21,11							
14	5,59		4,15	-17,72							
17	5,86		3,73	-15,49							
20	6,01		2,97	-12,26							

Příloha 11: Posuny ostění Uz (levá x pravá strava), nehomogenita R6 – Model 5

R3IIR6



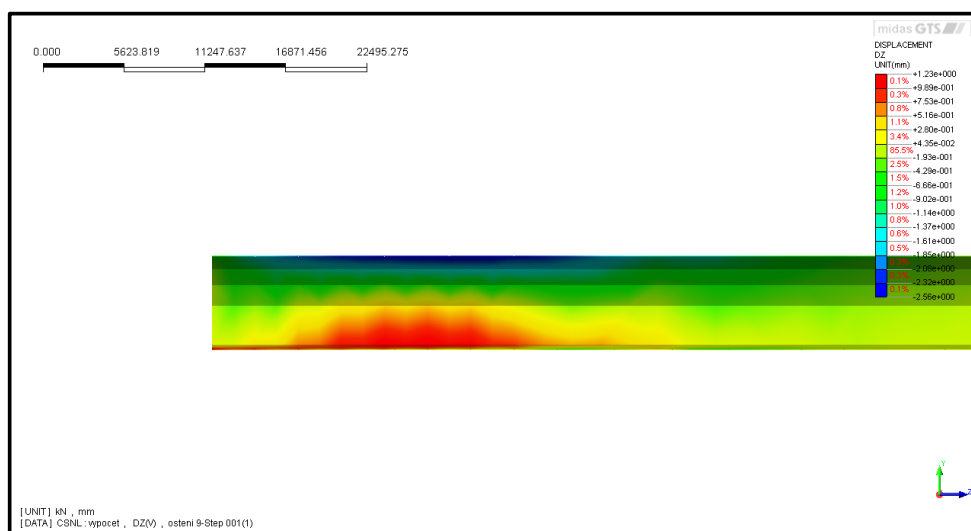
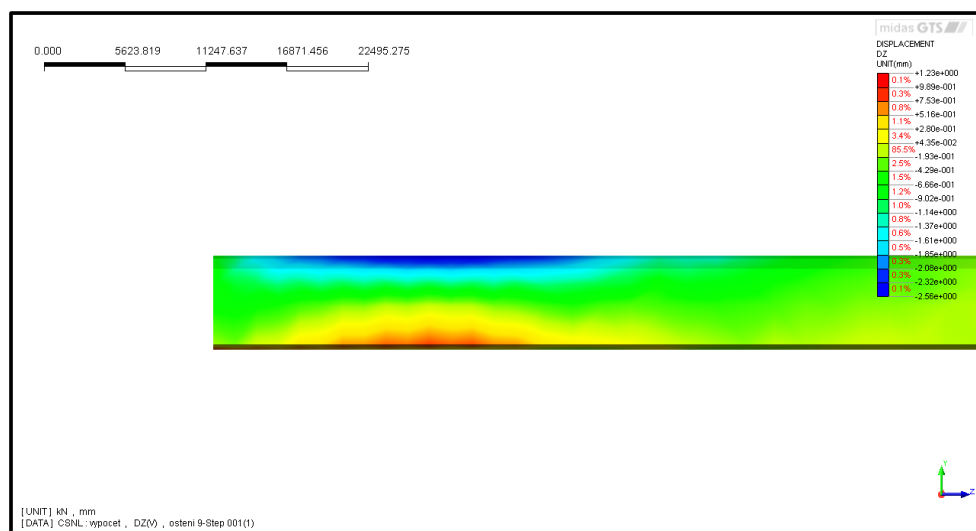
Příloha 12: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.7 - Model 5

vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice		
[m]	posuny [mm]			posuny [mm]			[m]	posuny [mm]			posuny [mm]		
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-5,84	-0,52	0,01	-3,12	-0,80	0,72							
5	-11,69	-1,12	0,01	-5,80	-0,95	0,84							
8	-15,07	-1,62	0,03	-7,30	-1,05	1,24							
11	-16,57	-2,01	0,04	-7,93	-1,08	1,67	2	-5,30	-0,62	0,08	-2,73	-0,64	0,60
14	-17,43	-2,30	0,05	-8,29	-1,10	1,91	5	-11,08	-1,26	0,16	-5,35	-0,80	0,72
17	-17,95	-2,50	0,05	-8,51	-1,12	2,04	8	-14,42	-1,76	0,23	-6,77	-0,90	1,15
20	-18,47	-2,68	0,07	-8,76	-1,12	2,15	11	-16,61	-2,34	0,28	-7,66	-0,91	1,81
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-6,21	-0,48	0,00	-3,36	-0,83	0,75							
5	-12,33	-1,09	0,00	-6,27	-1,00	0,82							
8	-15,83	-1,57	0,00	-7,91	-1,08	1,22							
11	-17,41	-1,96	0,00	-8,61	-1,10	1,67	2	-5,64	-0,55	0,00	-3,10	-0,70	0,67
14	-18,32	-2,24	0,00	-9,01	-1,10	1,93	5	-11,75	-1,16	0,00	-6,00	-0,84	0,74
17	-18,88	-2,43	0,00	-9,27	-1,10	2,06	8	-15,28	-1,65	0,00	-7,64	-0,91	1,14
20	-19,46	-2,60	0,00	-9,57	-1,08	2,17	11	-17,64	-2,22	0,00	-8,72	-0,90	1,81
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-6,09	-0,39	-0,05	-3,30	-0,74	0,70							
5	-12,05	-0,94	-0,07	-6,06	-0,86	0,77							
8	-15,47	-1,39	-0,10	-7,60	-0,93	1,15							
11	-17,00	-1,74	-0,13	-8,25	-0,93	1,57	2	-5,71	-0,43	-0,02	-3,08	-0,62	0,55
14	-17,89	-1,99	-0,16	-8,64	-0,93	1,79	5	-11,67	-0,98	-0,08	-5,87	-0,73	0,54
17	-18,44	-2,16	-0,18	-8,88	-0,92	1,90	8	-15,12	-1,42	-0,14	-7,44	-0,80	0,87
20	-19,03	-2,31	-0,21	-9,18	-0,90	1,98	11	-17,50	-1,95	-0,23	-8,52	-0,79	1,45
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-6,12	-0,37	-0,05	-3,32	-0,72	0,69							
5	-12,10	-0,92	-0,08	-6,09	-0,84	0,76							
8	-15,52	-1,36	-0,11	-7,63	-0,90	1,14							
11	-17,06	-1,70	-0,15	-8,29	-0,90	1,55	2	-5,77	-0,40	-0,04	-3,12	-0,60	0,52
14	-17,96	-1,94	-0,18	-8,68	-0,88	1,76	5	-11,76	-0,93	-0,12	-5,94	-0,70	0,48
17	-18,51	-2,10	-0,22	-8,93	-0,88	1,86	8	-15,22	-1,36	-0,21	-7,53	-0,77	0,79
20	-19,11	-2,25	-0,26	-9,24	-0,85	1,94	11	-17,65	-1,87	-0,34	-8,65	-0,76	1,34

vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]			sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]			sm. úhly [°]		
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	5,07	-89,27	-0,06	14,39	-47,86	-13,07							
5	5,47	-89,29	-0,07	9,35	-48,83	-8,19							
8	6,12	-88,97	-0,11	8,20	-40,38	-9,62							
11	6,92	-88,93	-0,13	7,76	-32,92	-11,88							
14	7,53	-88,86	-0,15	7,58	-30,03	-12,97	2	6,68	-82,74	-0,86	13,24	-47,22	-12,29
17	7,94	-88,74	-0,18	7,51	-28,81	-13,49	5	6,48	-82,54	-0,85	8,49	-48,06	-7,64
20	8,27	-88,58	-0,21	7,30	-27,57	-13,79	8	6,97	-82,51	-0,92	7,57	-38,02	-9,65
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			11	8,01	-83,11	-0,97	6,77	-26,65	-13,30
	α	β	γ	α	β	γ	0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
2	4,39	90,00	0,00	13,82	-47,73	-12,60		α	β	γ	α	β	γ
5	5,05	90,00	0,00	9,07	-50,58	-7,48							
8	5,67	90,00	0,00	7,81	-41,55	-8,79							
11	6,42	90,00	0,00	7,27	-33,24	-11,01							
14	6,96	90,00	0,00	6,96	-29,74	-12,06							
17	7,33	90,00	0,00	6,79	-28,18	-12,52	2	5,60	-90,00	0,00	12,76	-46,23	-12,24
20	7,61	90,00	0,00	6,45	-26,55	-12,75	5	5,66	-90,00	0,00	7,95	-48,64	-7,01
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			8	6,17	-90,00	0,00	6,83	-38,68	-8,51
	α	β	γ	α	β	γ	11	7,17	-90,00	0,00	5,88	-26,43	-11,72
2	3,65	83,17	0,00	12,67	-46,83	-11,91							
5	4,46	85,68	0,00	8,12	-48,33	-7,24							
8	5,13	85,93	0,00	6,98	-38,92	-8,62							
11	5,85	85,78	0,00	6,43	-30,71	-10,74							
14	6,35	85,48	0,00	6,11	-27,40	-11,68	2	4,31	86,78	0,24	11,38	-48,56	-10,08
17	6,69	85,20	0,00	5,94	-26,00	-12,05	5	4,79	85,53	0,38	7,06	-53,56	-5,23
20	6,93	84,76	0,00	5,59	-24,41	-12,17	8	5,37	84,34	0,53	6,17	-42,68	-6,69
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			11	6,36	83,28	0,75	5,31	-28,58	-9,68
	α	β	γ	α	β	γ	0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
2	3,46	81,93	0,49	12,29	-46,49	-11,69		α	β	γ	α	β	γ
5	4,33	85,08	0,37	7,87	-48,03	-7,08							
8	5,00	85,37	0,41	6,74	-38,42	-8,47							
11	5,70	85,12	0,49	6,17	-30,07	-10,57							
14	6,17	84,62	0,58	5,82	-26,67	-11,47							
17	6,49	84,11	0,67	5,62	-25,23	-11,79	2	3,97	83,84	0,43	10,95	-49,07	-9,52
20	6,70	83,32	0,79	5,23	-23,58	-11,84	5	4,53	82,77	0,58	6,74	-55,46	-4,65
							8	5,10	81,08	0,80	5,86	-44,41	-5,98
							11	6,05	79,59	1,12	4,99	-29,35	-8,82

Příloha 13: Posuny ostění Uz (levá x pravá strava), nehomogenita R6 – Model 6

R3\\R6



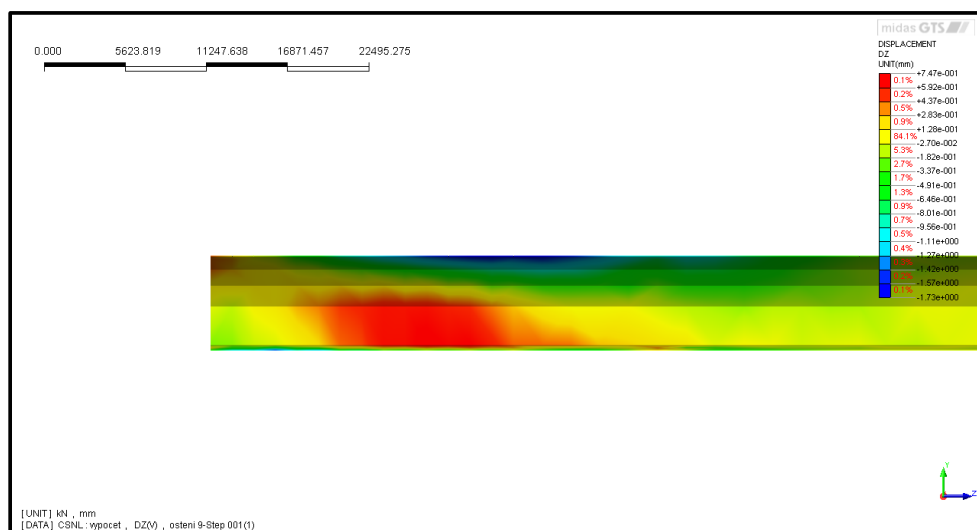
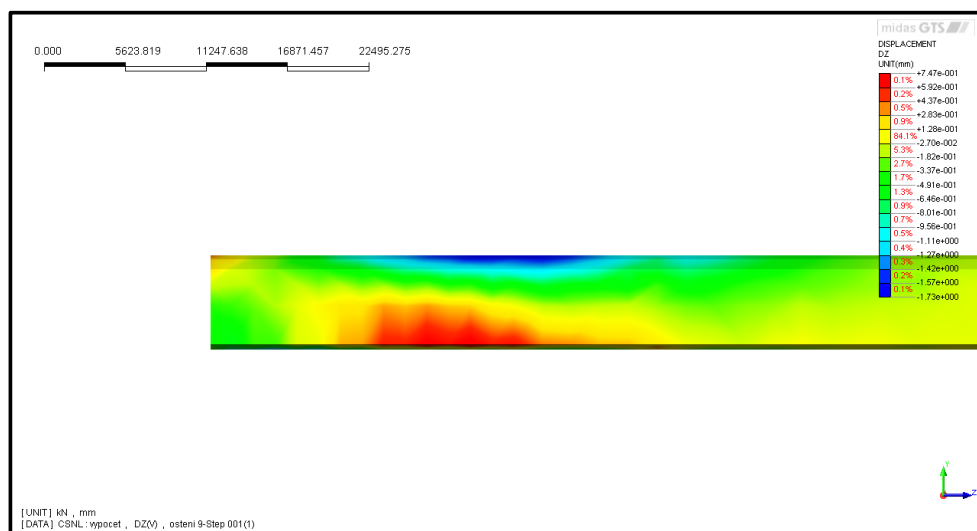
Příloha 14: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.7 - Model 6

vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice		
[m]	posuny [mm]			posuny [mm]			[m]	posuny [mm]			posuny [mm]		
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x
2	-5,82	-0,60	0,00	-3,51	-0,88	0,62							
5	-11,53	-1,16	0,06	-6,29	-1,01	0,73							
8	-14,86	-1,64	0,08	-7,86	-1,10	1,11							
11	-16,35	-2,01	0,09	-8,55	-1,12	1,50	2	-5,32	-0,61	0,07	-3,08	-0,69	0,52
14	-17,20	-2,28	0,09	-8,93	-1,14	1,72	5	-10,85	-1,19	0,13	-5,73	-0,83	0,62
17	-17,71	-2,47	0,08	-9,15	-1,15	1,84	8	-14,04	-1,77	0,18	-7,18	-0,91	0,99
20	-18,22	-2,62	0,07	-9,41	-1,13	1,93	11	-16,16	-2,29	0,21	-8,14	-0,90	1,55
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x
2	-6,21	-0,48	0,00	-3,36	-0,83	0,75							
5	-12,33	-1,09	0,00	-6,27	-1,00	0,82							
8	-15,83	-1,57	0,00	-7,91	-1,08	1,22							
11	-17,41	-1,96	0,00	-8,61	-1,10	1,67	2	-5,64	-0,55	0,00	-3,10	-0,70	0,67
14	-18,32	-2,24	0,00	-9,01	-1,10	1,93	5	-11,75	-1,16	0,00	-6,00	-0,84	0,74
17	-18,88	-2,43	0,00	-9,27	-1,10	2,06	8	-15,28	-1,65	0,00	-7,64	-0,91	1,14
20	-19,46	-2,60	0,00	-9,57	-1,08	2,17	11	-17,64	-2,22	0,00	-8,72	-0,90	1,81
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x
2	-6,05	-0,32	-0,02	-3,69	-0,82	0,62							
5	-11,96	-0,88	0,02	-6,59	-0,93	0,75							
8	-15,44	-1,37	0,04	-8,27	-1,00	1,14							
11	-17,06	-1,75	0,04	-9,03	-1,00	1,56	2	-5,76	-0,49	0,00	-3,45	-0,68	0,54
14	-18,02	-2,02	0,03	-9,49	-0,99	1,81	5	-11,82	-1,09	-0,02	-6,48	-0,79	0,61
17	-18,63	-2,22	0,01	-9,79	-0,99	1,93	8	-15,49	-1,61	-0,01	-8,31	-0,87	0,96
20	-19,24	-2,41	0,00	-10,12	-0,98	2,03	11	-18,05	-2,22	-0,02	-9,55	-0,87	1,59
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x		U _y	U _z	U _x	U _y	U _z	U _x
2	-6,15	-0,25	-0,06	-3,79	-0,71	0,59							
5	-12,16	-0,82	-0,02	-6,76	-0,81	0,73							
8	-15,72	-1,31	0,00	-8,49	-0,86	1,14							
11	-17,40	-1,70	0,00	-9,30	-0,85	1,58	2	-5,99	-0,44	-0,13	-3,69	-0,52	0,45
14	-18,42	-1,98	-0,02	-9,81	-0,82	1,83	5	-12,33	-1,07	-0,14	-6,96	-0,60	0,50
17	-19,09	-2,19	-0,05	-10,15	-0,81	1,96	8	-16,25	-1,63	-0,19	-9,02	-0,67	0,82
20	-19,75	-2,41	-0,07	-10,50	-0,80	2,05	11	-19,01	-2,31	-0,27	-10,39	-0,68	1,46

vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]			sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]			sm. úhly [°]		
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	5,92	-89,53	-0,05	14,15	-55,07	-9,99							
5	5,75	-87,22	-0,28	9,17	-54,09	-6,67							
8	6,29	-87,09	-0,32	7,93	-44,77	-8,00							
11	7,00	-87,40	-0,32	7,44	-36,68	-9,95							
14	7,56	-87,81	-0,29	7,25	-33,38	-10,92	2	6,53	-83,74	-0,72	12,58	-52,82	-9,61
17	7,94	-88,17	-0,26	7,15	-31,96	-11,38	5	6,26	-83,60	-0,70	8,21	-53,18	-6,17
20	8,18	-88,55	-0,21	6,83	-30,27	-11,60	8	7,18	-84,17	-0,74	7,24	-42,70	-7,84
							11	8,06	-84,67	-0,76	6,33	-30,24	-10,78
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	4,39	90,00	0,00	13,82	-47,73	-12,60							
5	5,05	90,00	0,00	9,07	-50,58	-7,48							
8	5,67	90,00	0,00	7,81	-41,55	-8,79							
11	6,42	90,00	0,00	7,27	-33,24	-11,01							
14	6,96	90,00	0,00	6,96	-29,74	-12,06	2	5,60	-90,00	0,00	12,76	-46,23	-12,24
17	7,33	90,00	0,00	6,79	-28,18	-12,52	5	5,66	-90,00	0,00	7,95	-48,64	-7,01
20	7,61	90,00	0,00	6,45	-26,55	-12,75	8	6,17	-90,00	0,00	6,83	-38,68	-8,51
							11	7,17	-90,00	0,00	5,88	-26,43	-11,72
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	3,07	86,84	0,00	12,50	-52,68	-9,60							
5	4,23	-88,51	0,00	8,07	-51,13	-6,52							
8	5,06	-88,18	0,00	6,89	-41,18	-7,87							
11	5,84	-88,58	0,00	6,32	-32,63	-9,82							
14	6,40	-89,18	0,00	5,97	-28,80	-10,77	2	4,86	89,55	0,04	11,14	-51,68	-8,85
17	6,80	-89,66	0,00	5,79	-27,19	-11,16	5	5,28	88,97	0,10	6,97	-52,38	-5,38
20	7,14	-89,97	0,00	5,52	-25,66	-11,37	8	5,95	89,78	0,02	5,97	-42,28	-6,56
							11	7,02	89,49	0,06	5,21	-28,71	-9,45
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	2,31	75,31	0,60	10,61	-50,41	-8,81							
5	3,84	88,39	0,11	6,85	-48,05	-6,16							
8	4,76	-89,98	0,00	5,80	-37,16	-7,63							
11	5,57	89,92	0,01	5,21	-28,23	-9,63							
14	6,14	89,36	0,07	4,79	-24,21	-10,56	2	4,16	72,84	1,29	8,02	-49,40	-6,88
17	6,56	88,79	0,14	4,57	-22,54	-10,90	5	4,95	82,77	0,63	4,93	-50,09	-4,13
20	6,95	88,32	0,21	4,36	-21,36	-11,04	8	5,74	83,46	0,66	4,23	-39,19	-5,19
							11	6,92	83,42	0,80	3,73	-24,91	-8,00

Příloha 15: Posuny ostění Uz (levá x pravá strava), nehomogenita R6 – Model 7

R3//R6



Příloha 16: Vstupní data pro grafy z kapitoly 4.3.7 - Model 7

vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice		
[m]	posuny [mm]			posuny [mm]			[m]	posuny [mm]			posuny [mm]		
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-5,87	-0,58	-0,02	-2,96	-0,89	0,78							
5	-11,88	-1,20	-0,06	-5,63	-1,05	0,86							
8	-15,30	-1,70	-0,10	-7,12	-1,16	1,23							
11	-16,80	-2,11	-0,14	-7,77	-1,20	1,64	2	-5,38	-0,69	-0,01	-2,69	-0,77	0,68
14	-17,68	-2,42	-0,17	-8,16	-1,25	1,86	5	-11,46	-1,38	-0,06	-5,44	-0,96	0,73
17	-18,24	-2,64	-0,18	-8,41	-1,29	1,97	8	-15,00	-1,93	-0,10	-7,01	-1,10	1,09
20	-18,83	-2,84	-0,20	-8,72	-1,30	2,06	11	-17,36	-2,55	-0,16	-8,06	-1,13	1,71
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-6,21	-0,48	0,00	-3,36	-0,83	0,75							
5	-12,33	-1,09	0,00	-6,27	-1,00	0,82							
8	-15,83	-1,57	0,00	-7,91	-1,08	1,22							
11	-17,41	-1,96	0,00	-8,61	-1,10	1,67	2	-5,64	-0,55	0,00	-3,10	-0,70	0,67
14	-18,32	-2,24	0,00	-9,01	-1,10	1,93	5	-11,75	-1,16	0,00	-6,00	-0,84	0,74
17	-18,88	-2,43	0,00	-9,27	-1,10	2,06	8	-15,28	-1,65	0,00	-7,64	-0,91	1,14
20	-19,46	-2,60	0,00	-9,57	-1,08	2,17	11	-17,64	-2,22	0,00	-8,72	-0,90	1,81
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-6,19	-0,44	-0,02	-3,13	-0,77	0,75							
5	-12,32	-0,97	-0,01	-5,81	-0,86	0,89							
8	-15,77	-1,39	-0,02	-7,28	-0,88	1,34							
11	-17,27	-1,71	-0,03	-7,88	-0,84	1,80	2	-5,88	-0,39	0,00	-2,96	-0,57	0,63
14	-18,12	-1,92	-0,05	-8,22	-0,79	2,04	5	-11,91	-0,86	0,01	-5,59	-0,59	0,75
17	-18,63	-2,05	-0,07	-8,43	-0,75	2,17	8	-15,27	-1,21	-0,01	-6,96	-0,56	1,20
20	-19,14	-2,14	-0,09	-8,67	-0,69	2,26	11	-17,41	-1,61	-0,05	-7,87	-0,45	1,84
0 m	1145 / Strop			1148 / Bok			0 m	979 / Strop			982 / Bok		
	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux		Uy	Uz	Ux	Uy	Uz	Ux
2	-6,39	-0,33	-0,03	-3,23	-0,67	0,74							
5	-12,62	-0,83	0,01	-5,94	-0,72	0,93							
8	-16,12	-1,21	0,04	-7,39	-0,69	1,44							
11	-17,64	-1,47	0,05	-7,98	-0,59	1,94	2	-6,24	-0,19	0,00	-3,17	-0,39	0,60
14	-18,49	-1,62	0,04	-8,30	-0,48	2,21	5	-12,35	-0,54	0,07	-5,75	-0,29	0,79
17	-18,99	-1,69	0,02	-8,49	-0,38	2,35	8	-15,63	-0,75	0,08	-7,00	-0,12	1,33
20	-19,46	-1,70	-0,01	-8,70	-0,26	2,44	11	-17,66	-0,97	0,03	-7,76	0,12	2,00

vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice			vzdálenost	bod / pozice			bod / pozice		
[m]	sm. úhly [°]			sm. úhly [°]			[m]	sm. úhly [°]			sm. úhly [°]		
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	5,68	88,46	0,15	16,77	-48,95	-14,70							
5	5,76	87,27	0,28	10,62	-50,76	-8,70							
8	6,34	86,52	0,39	9,25	-43,25	-9,82							
11	7,15	86,19	0,48	8,81	-36,28	-11,93	2	7,29	89,13	0,11	15,90	-48,54	-14,13
14	7,79	86,08	0,54	8,71	-33,90	-12,84	5	6,86	87,66	0,28	10,06	-52,99	-7,62
17	8,25	86,02	0,58	8,71	-33,19	-13,18	8	7,33	86,98	0,39	8,91	-45,15	-8,86
20	8,59	85,90	0,62	8,49	-32,33	-13,28	11	8,36	86,41	0,53	8,01	-33,65	-11,94
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	4,39	90,00	0,00	13,82	-47,73	-12,60							
5	5,05	90,00	0,00	9,07	-50,58	-7,48							
8	5,67	90,00	0,00	7,81	-41,55	-8,79							
11	6,42	90,00	0,00	7,27	-33,24	-11,01	2	5,60	-90,00	0,00	12,76	-46,23	-12,24
14	6,96	90,00	0,00	6,96	-29,74	-12,06	5	5,66	-90,00	0,00	7,95	-48,64	-7,01
17	7,33	90,00	0,00	6,79	-28,18	-12,52	8	6,17	-90,00	0,00	6,83	-38,68	-8,51
20	7,61	90,00	0,00	6,45	-26,55	-12,75	11	7,17	-90,00	0,00	5,88	-26,43	-11,72
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	4,05	87,44	0,00	13,90	-45,80	-13,53							
5	4,52	89,21	0,00	8,44	-44,07	-8,72							
8	5,05	89,22	0,00	6,91	-33,34	-10,44							
11	5,64	88,95	0,00	6,05	-24,89	-12,87	2	3,76	-89,78	-0,01	10,87	-41,86	-12,09
14	6,04	88,55	0,00	5,49	-21,13	-13,98	5	4,14	-89,24	-0,05	6,00	-38,26	-7,59
17	6,27	88,15	0,00	5,11	-19,17	-14,44	8	4,52	89,71	0,02	4,58	-25,01	-9,75
20	6,39	87,68	0,00	4,56	-17,01	-14,62	11	5,27	88,10	0,18	3,26	-13,72	-13,14
0 m	1336 / Strop			1339 / Bok			0 m	1153 / Strop			1165 / Bok		
	α	β	γ	α	β	γ		α	β	γ	α	β	γ
2	2,94	85,64	0,22	11,74	-42,10	-12,95							
5	3,77	-88,98	-0,07	6,93	-37,81	-8,91							
8	4,29	-88,12	-0,14	5,35	-25,68	-11,03							
11	4,78	-88,15	-0,15	4,23	-16,92	-13,67	2	1,77	-89,61	-0,01	7,09	-33,09	-10,80
14	5,02	-88,61	-0,12	3,31	-12,25	-14,92	5	2,49	-82,69	-0,32	2,86	-19,91	-7,85
17	5,08	-89,26	-0,07	2,59	-9,28	-15,48	8	2,73	-83,76	-0,30	1,02	-5,35	-10,79
20	5,00	89,67	0,03	1,71	-6,06	-15,69	11	3,13	-88,28	-0,09	-0,92	3,55	-14,47